

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплотехника

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕСПЫЛИВАНИЯ ВОЗДУХА В ЦИКЛОННЫХ АППАРАТАХ				

УДК 628.511:621.928.93-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Цыганков Михаил Андреевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ	А. С. Разва	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	Н.Г. Кузьмина			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально- гуманитарных наук	М.В. Василевский	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель Отделения/НОЦ/ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	А.М.Антонова	к.т.н., доцент		

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы бакалавриата, указанными в ФГОС ВПО по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
	<i>Универсальные компетенции</i>
P1	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе <i>на иностранном языке</i> , разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты <i>комплексной</i> инженерной деятельности.
P2	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, в том числе междисциплинарном, с делением ответственности и полномочий при решении <i>комплексных</i> инженерных задач.
P3	Демонстрировать <i>личную</i> ответственность, приверженность и следовать профессиональной этике и нормам ведения <i>комплексной</i> инженерной деятельности с соблюдением правовых, социальных, экологических и культурных аспектов.
P4	Анализировать экономические проблемы и общественные процессы, участвовать в общественной жизни с учетом принятых в обществе моральных и правовых норм.
P5	К достижению должного уровня экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения на производстве, безопасности жизнедеятельности и физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P6	Осознавать необходимость и демонстрировать <i>способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни</i> , непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии, организации обучения и тренинга производственного персонала.
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P7	Применять <i>базовые</i> математические, естественнонаучные, социально-экономические знания в профессиональной деятельности <i>в широком</i> (в том числе междисциплинарном) контексте в <i>комплексной</i> инженерной деятельности в производстве тепловой и электрической энергии.
P8	Анализировать научно-техническую информацию, ставить, решать и публиковать результаты решения задач <i>комплексного</i> инженерного анализа с использованием <i>базовых и специальных</i> знаний, нормативной документации, современных аналитических методов, методов математического анализа и моделирования теоретического и экспериментального исследования.
P9	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок объектов производства тепловой и электрической энергии, выполнять <i>комплексные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых и специальных</i> знаний, <i>современных</i> методов проектирования для достижения <i>оптимальных</i> результатов, соответствующих техническому заданию <i>с учетом</i> нормативных документов, экономических, экологических, социальных и других ограничений.
P10	Проводить <i>комплексные</i> научные исследования в области производства тепловой и электрической энергии, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных, и их подготовку для составления обзоров, отчетов и научных публикаций с применением <i>базовых и специальных</i> знаний и <i>современных</i> методов.
P11	Использовать информационные технологии, использовать компьютер как средство работы с информацией и создания новой информации, осознавать опасности и угрозы в развитии современного информационного общества, соблюдать основные требования информационной безопасности.

P12	Выбирать и использовать необходимое оборудование для производства тепловой и электрической энергии, управлять технологическими объектами на основе АСУТП; использовать инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений.
	<i>Специальные профессиональные</i>
P13	Участвовать в выполнении работ по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов теплоэнергетического производства, контролировать организацию метрологического обеспечения технологических процессов теплоэнергетического производства, составлять документацию по менеджменту качества технологических процессов на производственных участках.
P14	Организовывать рабочие места, управлять малыми коллективами исполнителей, к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений, планированию работы персонала и фондов оплаты труда, организовывать обучение и тренинг производственного персонала, анализировать затраты и оценивать результаты деятельности первичных производственных подразделений, контролировать соблюдение технологической дисциплины.
P15	Использовать методики испытаний, наладки и ремонта технологического оборудования теплоэнергетического производства в соответствии с профилем работы, планировать и участвовать в проведении плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, в том числе, при освоении нового оборудования и (или) технологических процессов.
P16	Организовывать работу персонала по обслуживанию технологического оборудования теплоэнергетического производства, контролировать техническое состояние и оценивать остаточный ресурс оборудования, организовывать профилактические осмотры и текущие ремонты, составлять заявки на оборудование, запасные части, готовить техническую документацию на ремонт, проводить работы по приемке и освоению вводимого оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова

Направление подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль Теоретическая и промышленная теплотехника

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель профиля

Е. Е. Бульба

(Подпись)

29.01.2018

(Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы
(бакалаврской работы, /работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Цыганкову Михаилу Андреевичу

Тема работы:

Исследование процесса обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 4 2 5 /с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	10 июня 2018 года
--	-------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Целью обзора является сбор и обобщение информации об опыте применения, современном уровне развития и потенциале технологий обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах. Цель опытного исследования – разработка рекомендации по использованию циклонных аппаратов. Объектом исследования в работе являются сепарационные характеристики инерционных аппаратов. Предметом исследования выступают факторы, определяющие эффективность применения инерционных аппаратов в различных сферах производства и энергетики.
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация способов обеспыливания воздуха 2. Обзор сфер применения обеспыливания воздуха с помощью циклонных аппаратов 3. Рассмотрение физики процессов осаждения частиц в инерционных аппаратах 4. Обзор отдельных проектов 5. Постановка задачи исследования 6. Лабораторные исследования 7. Анализ проведенных измерений 8. Разработка рекомендаций по использованию циклонных аппаратов 9. Возможные перспективы совершенствования обеспыливания воздуха 10. Заключение
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Схема и спецификация установки использованной для проведения лабораторных испытаний на формате А3.</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Финансовый менеджмент</p>	<p>Н.Г. Кузьмина, старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>М.В. Василевский, доцент Отделения контроля и диагностики</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p>29 января 2018 года</p>
--	-----------------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент НОЦ И.Н.Бутакова ИШЭ</p>	<p>А. С. Разва</p>	<p>к.т.н., доцент</p>		<p>29.01.18</p>

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>5Б4Б</p>	<p>Цыганков Михаил Андреевич</p>		<p>29.01.18</p>

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 72 с., 15 рис., 6 табл., 40 источников, 1 графическое приложение (формат А3).

Ключевые слова: обеспыливание, инерционные аппараты, дисперсное вещество, циклон, воздушный поток, пылесборник, вихревой разгрузитель, рукавный фильтр, выхлопной патрубок, эффективность.

Объектом исследования являются сепарационные характеристики инерционных аппаратов.

Цель работы - изучение характеристик инерционных пылеотделителей на научно-исследовательском стенде для разработки рекомендаций по работе аппаратов пылеулавливания.

В процессе исследования проводился сбор и обработка информации по данной тематике, а так же проводились эксперименты на научно-исследовательском стенде с различными модификациями и конструкторскими решениями для достижения большей эффективности.

В результате исследования была рассчитана эффективность вихревого разгрузителя с различной степенью погружения выхлопного патрубка. Была выбрана оптимальная степень погружения для различного дисперсного материала.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: для создания необходимого перепада давлений в системе был использован центробежный вентилятор ВЦ, производства НП ООО "Тайра" ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью $Q=1000$ м³/ч при разрежении 3000 Па.

Степень внедрения: на сегодняшний день инерционные аппараты являются наиболее распространенными среди всех пылеочистительных устройств.

Область применения: различные отрасли промышленности (химическая, металлургическая, деревообрабатывающая, пищевая и т. д.), а так же в аспирационных и пневмотранспортных установках.

Экономическая эффективность/значимость работы: учитывая тот факт, что инерционные аппараты являются наиболее экономичными и простыми устройствами для очистки запыленных газов, работа над усовершенствованием и повышением эффективности этих аппаратов является актуальной и значимой на данный момент.

В будущем планируется более детальное изучение очистки газов от более мелкодисперсного материала (например очистка дымовых газов в которых размеры частиц достигают 5-10мкм), разработка каких либо улучшений в конструкции аппаратов для большей эффективности.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	10
ОБЗОР ОСНОВНЫХ СВЕДЕНИЙ О ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА	12
1.1 Классификация способов обеспыливания воздуха	12
1.1.1 Пылеосадительные камеры	14
1.1.2 Жалюзийные пылеуловители	15
1.1.3 Инерционные пылеуловители	16
1.1.4 Ротационные пылеуловители	17
1.1.5 Циклонные аппараты	18
1.2 Физические основы осаждения пыли в аппаратах сухой инерционной очистки	20
1.3 Оценка эффективности систем обеспыливания воздуха	22
1.4 Обзор отдельных проектов по исследованию инерционных аппаратов	26
2 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	32
2.1 Постановка задачи исследования	32
2.2 Описание установки и проведенных опытов	32
2.3 Обработка результатов	36
2.3.1 Расчет эффективности пылеулавливания противоточного пылеконцентратора при различной глубине погружения выхлопного патрубка	37
2.3.2 Методика расчета погрешности	43
2.4 Выводы по разделу	45
3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСНАБЖЕНИЕ	47
3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения	47
3.2 Смета затрат на проект	49
3.2.1 Материальные затраты	49
3.2.2 Амортизация компьютерной техники	49

3.2.3 Затраты на заработную плату	50
3.2.4 Затраты на социальные нужды	51
3.2.5 Прочие затраты	51
3.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы.....	52
4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	55
4.1 Производственная безопасность	55
4.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	56
4.1.2 Общая характеристика помещения.....	56
4.1.3 Производственный шум	57
4.1.4 Электромагнитные и электростатические поля.....	58
4.1.5 Ионизирующее излучение	59
4.2 Охрана окружающей среды	59
4.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»	66
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Системы очистки воздуха применяются в современном производстве повсеместно. В химической, металлургической, деревообрабатывающей, строительной, пищевой промышленности воздухоочистительные аппараты применяют для улучшения санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха в производственных помещениях для комфортных условий труда. Так же пылеулавливающие устройства играют большую роль в пневмотранспортных установках. Пневмотранспортные установки – установки использующие воздух в качестве несущей среды, то есть воздух вместе с перемещаемым материалом движется по трубопроводам под разностью давлений. Такие установки часто используются при транспортировке различных строительных материалов, например цемента, так же с помощью пневмотранспортных установок перемещаются различные пищевые сыпучие продукты (зерновые, злаковые, сахар). От эффективности сепарации воздушно-дисперсной смеси напрямую зависит потери транспортируемого материала.

В качестве установок разделяющих воздух и дисперсный материал находящийся в нем могут быть использованы различные установки. Например: электростатические воздухоочистители (принцип работы основан на притягивании мелких частиц к элементам имеющим статический заряд), фильтрующие воздухоочистители (воздух просачиваясь через фильтрующий элемент оставляет дисперсное вещество в нем), инерционные воздухоочистители (используют центробежную силу и силу инерции криволинейно движущегося потока загрязнённого воздуха), моющие воздухоочистители (используют силу натяжения воды для прилипания частиц к мокрым элементам, так же увлажняют воздух). Среди всех вышеперечисленных воздухоочистителей самыми экономичными и простыми в использовании устройствами являются инерционные аппараты. Главным недостатком инерционных аппаратов является низкая

эффективность при наличии в воздухе дисперсных частиц размером менее 15-20мкм [1]. Фильтрующие очистители способны уловить даже самые мелкие частицы, однако время их эффективной работы ограничено из-за быстрого засорения, при не своевременной замене возможны разрывы фильтра. Чаще всего на производствах с необходимостью глубокого обеспыливания применяют комбинированную очистку, то есть фильтры устанавливают после циклонных аппаратов. То есть инерционные аппараты более предпочтительны в сравнении с остальными видами воздухоочистки. Что доказывает актуальность более подробного изучения процессов в циклонных аппаратах и разработки конструкторских решений повышающих эффективность улавливания мелкодисперсного вещества. Эффективность очистки воздуха в циклонных аппаратах напрямую зависит от состава дисперсной части и влажности пыле-воздушной смеси. Так эффективность одного и того же циклона может приближаться к ста процентам и стремиться к бесконечности. Что доказывает важность экспериментального исследования каждого аппарата для данных условий использования.

В данной работе было проведено исследование сухой пылеочистки воздуха с помощью противоточного вихревого разгрузителя-концентратора, а так же разработаны рекомендации по его использованию. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- Проведение обзора научной литературы по тематике исследования процессов обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах;
- Постановка задачи исследования;
- Проведение экспериментальных исследований и анализ результатов;
- Разработка новых рекомендаций по использованию циклонных аппаратов.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ СВЕДЕНИЙ О ОЧИСТКЕ ВОЗДУХА ОТ ДИСПЕРСНОГО МАТЕРИАЛА

1.1 Классификация способов обеспыливания воздуха

Под обеспыливанием понимают удаление дисперсного материала (пыли) из газообразной среды.

Пыль – твердые частицы размером не более 0,5мм (500мкм)[8]. В зависимости от размера частиц пыль разделяют на:

- крупную (500-100мкм);
- мелкую (100-10мкм);
- тонкую (10-0,1мкм);
- весьма тонкую (<0,1мкм).

Обеспыливание представляет собой применение направленных внешних силовых полей или введение искусственных аэродисперсных систем. Процесс обеспыливания включает в себя три основных этапа пылеочистка, пылеулавливание и рассеивание пыли. Каждый из данных этапов может быть осуществлен собственным методом. Наиболее важной частью системы и объектом исследования является пылеочиститель. Главными параметрами которого являются сепарационные, аэропылединамические и технологические. На основе которых можно более четко классифицировать пылеочистительные аппараты:

- физические;
- химические;
- физико-химические;
- биохимические;
- физико-биохимические.

Эффективность применения зависит от дисперсного и газового составов, а так же от внешних параметров. Поэтому каждый из вышеперечисленных методов очистки имеет широкое распространение с достаточной эффективностью. Однако физические методы (мокрые, сухие,

электрические) подходят к большому числу сфер применения. Что влечет за собой большее количество внимания и исследований.

Во главе сухого метода лежат центробежные, инерционные, гравитационные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. Когда используют мокрый метод пылеочистки, то осуществление происходит путем тесного взаимодействия между запыленным воздухом и каплями или жидкой пленкой. Очистка газов электрическим способом работает на электризации взвешенных частиц в газе и осаждение их на осадительные электроды.

Для тонкой и особо тонкой очистки воздуха применяют двухступенчатую очистку. На первой ступени происходит предварительная очистка, в качестве первой ступени чаще всего используются инерционные аппараты либо жалюзийные решетки. В качестве второй ступени применяют пористые фильтры, электрофильтры, и мокрые пылеосадители. В результате двухступенчатой очистки величина проскока не превышает 1-2% [2].

По ГОСТ 12.2.043—89 «Оборудование пылеулавливающее. Классификация.» все оборудование для очистки газов и воздуха от взвешенных дисперсных частиц подразделяется в зависимости от размеров и эффективности их улавливания разделено на пять классов (таблица 1) [2].

Таблица 1 – классификация пылеуловителей

Класс аппарата	Размер эффективно улавливаемых частиц, мкм	Эффективность по массе пыли, при группе дисперсности пыли				
		I	II	III	IV	V
I	более 0,3-0,5	-	-	-	99,9-80	<80
II	более 2	-	-	99,9-92	92-45	-
III	более 4	-	99,9-99	99-80	-	-
IV	более 8	>99,9	99-95	-	-	-
V	более 20	>99	-	-	-	-

Подробнее остановимся на физических аппаратах сухой пылеочистки использующих в качестве сторонних действующих сил силы гравитации и инерции, а так же центробежную силу.

1.1.1 Пылеосадительные камеры

Пылеосадитель – простейшее пылеулавливающее устройство принцип действия которого основан на осаждении частиц под действием силы тяжести. Чаще всего пылеосадительные камеры используют в качестве первой ступени очистки, то есть улавливания наиболее крупных частиц что приводит к снижению нагрузки на последующие ступени. Одна из схем пылеосадительной установки приведена на рисунке 1.

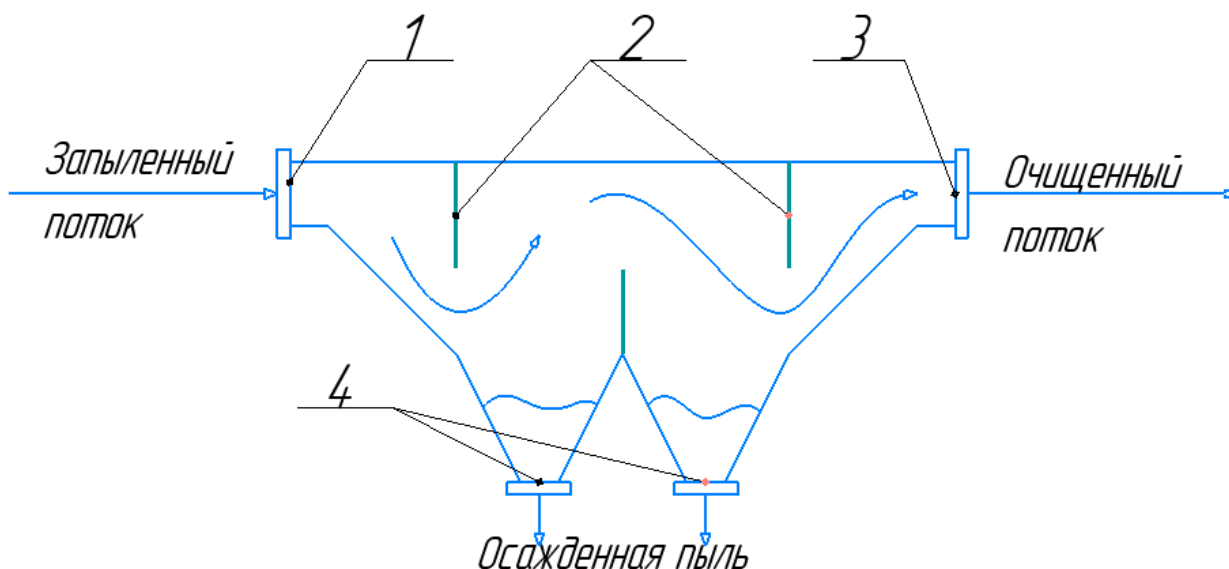


Рисунок 1. Схема пылеосадительной установки

1 – входной патрубок; 2 – отбойные перегородки; 3 – выхлопной патрубок; 4 – шиберы.

Главным ограничением в использовании пылеосадительных камер является ограничение по скорости. При скорости выше допустимой проскок частиц будет сильно увеличиваться что приведет к бесполезности аппарата. В зависимости от группы дисперсности пыли а так же от ее плотности и формы рекомендуемая скорость газа может варьироваться от 1 до 7,5м/с.

Для эффективной очистки частицам для осаждения необходимо пройти путь равный высоте камеры, что влечет за собой громоздкость и большой вес конструкции.

1.1.2 Жалюзийные пылеуловители

Жалюзийные пылеуловители так же как и пылесодительные камеры используются для первоначальной (грубой) очистки газов, не смотря на то что улавливают более мелкие частицы с диаметром не менее 30-40мкм. Способность улавливать частицы такого размера дает возможность использовать жалюзийные аппараты в качестве первой ступени золоуловителя. Пример схемы жалюзийного золоуловителя представлен на рисунке 2. Принцип действия основан на прохождении запыленного газа по газоходу с установленными в нем пластинами. Газ огибая пластины частично избавляясь от пыли продолжает двигаться в направлении выхлопного патрубка. Меньшая часть газа обогащённая пылью отправляется в другой газоход, который чаще всего подведен к циклону для отделения дисперсной части.

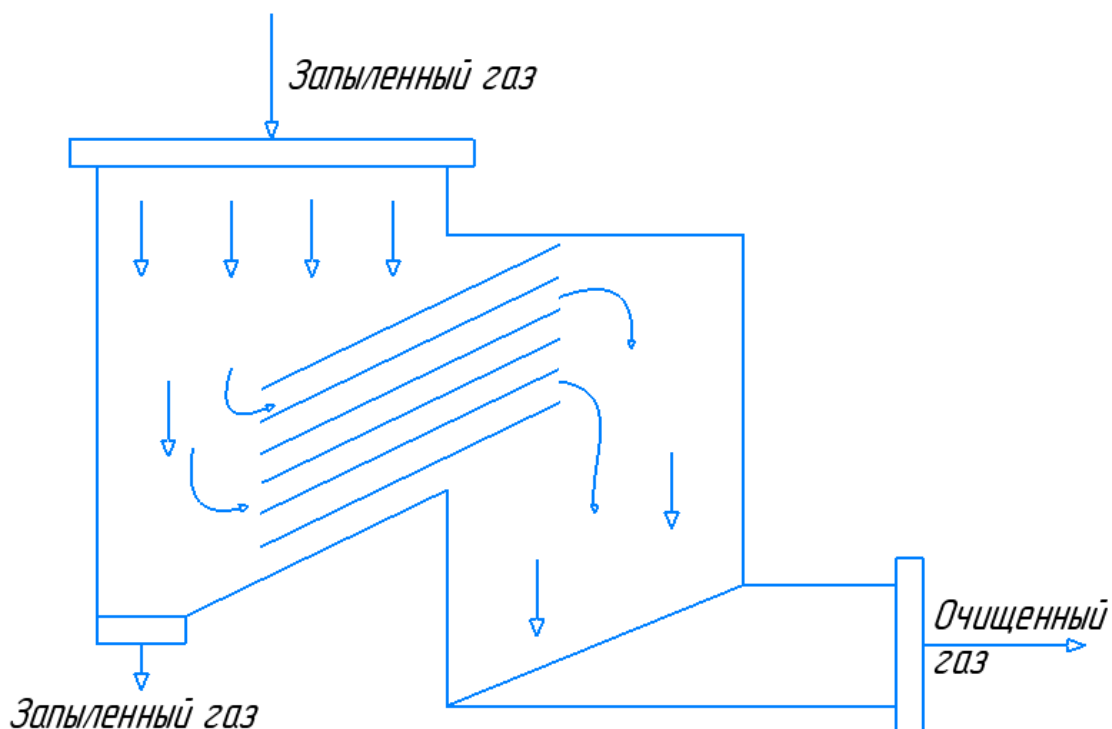


Рисунок 2. Схема жалюзийного пылеуловителя

В основе работы этого типа пылеуловителей лежит инерционно-отражательный принцип. То есть частицы покидают поток при крутом повороте газа в жалюзийной решетке, а так же при отражении частиц о элементы решетки. Эффективность улавливания частиц напрямую зависит от эффективности решетки и доли газа удаляемого вместе с уловленной пылью.

1.1.3 Инерционные пылеуловители

Инерционные пылеуловители являются более усовершенствованной и модернизированной версией пылесадительных камер. Они имеют большую эффективность при меньших размерах при сравнимых капитальных и эксплуатационных затратах. На рисунке 3 а, б, в показаны самые распространенные и эффективные схемы инерционных пылеуловителей.

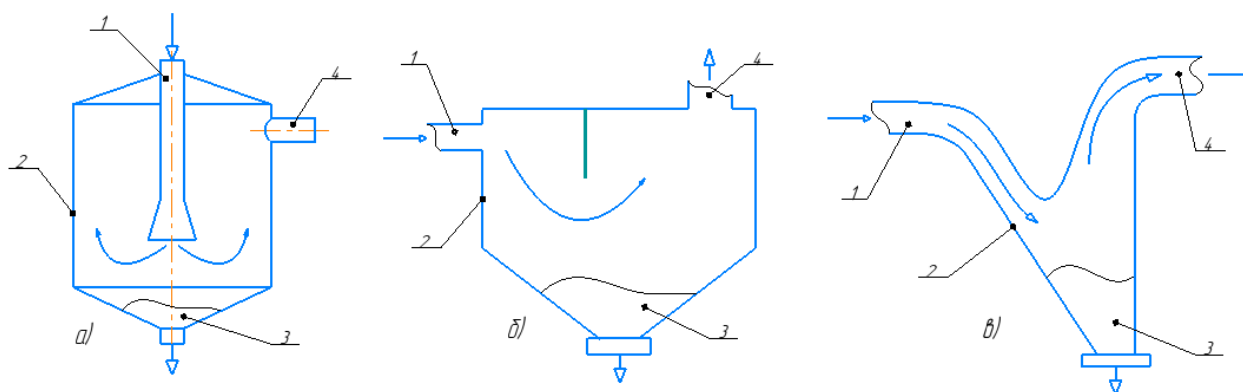


Рисунок 3а – пылевой мешок с центральным подводом газа; б – пылесадитель с отражательной перегородкой; в – пылесадитель встраиваемый в газопровод

1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – пылесборник; 4 – выходной патрубок

В основе работы этих аппаратов лежит резкое изменение направления движения потока. Например в пылевом мешке поток движется вертикально вниз, затем меняет направление движения на 180 градусов и проходит через кольцевой зазор. Уловленная пыль сыпается в пылесборник. В сравнении с простыми пылесадительными камерами скорость потока в этих аппаратах выше (около 10м/с на входе и 1м/с на выходе), главным недостатком является большое гидравлическое сопротивление.

1.1.4 Ротационные пылеуловители

Ротационные пылеуловители чаще всего относят к аппаратам полутонкой очистки газов, при эффективной очистки газов от частиц размерами более 10мкм. Принцип действия основан на воздействии центробежной силы при вращении колеса. Они имеют большое количество преимуществ в сравнении с вышеперечисленными аппаратами. Они очень компактны это объясняется тем что вентилятор и сепаратор частиц совмещены в одном агрегате, и довольно эффективны, однако сложны в изготовлении имеют большую стоимость и большие эксплуатационные затраты. Зачастую такие аппараты используют в системах золоулавливания. Схема центробежного ротационного золоуловителя представлена на рисунке 4.

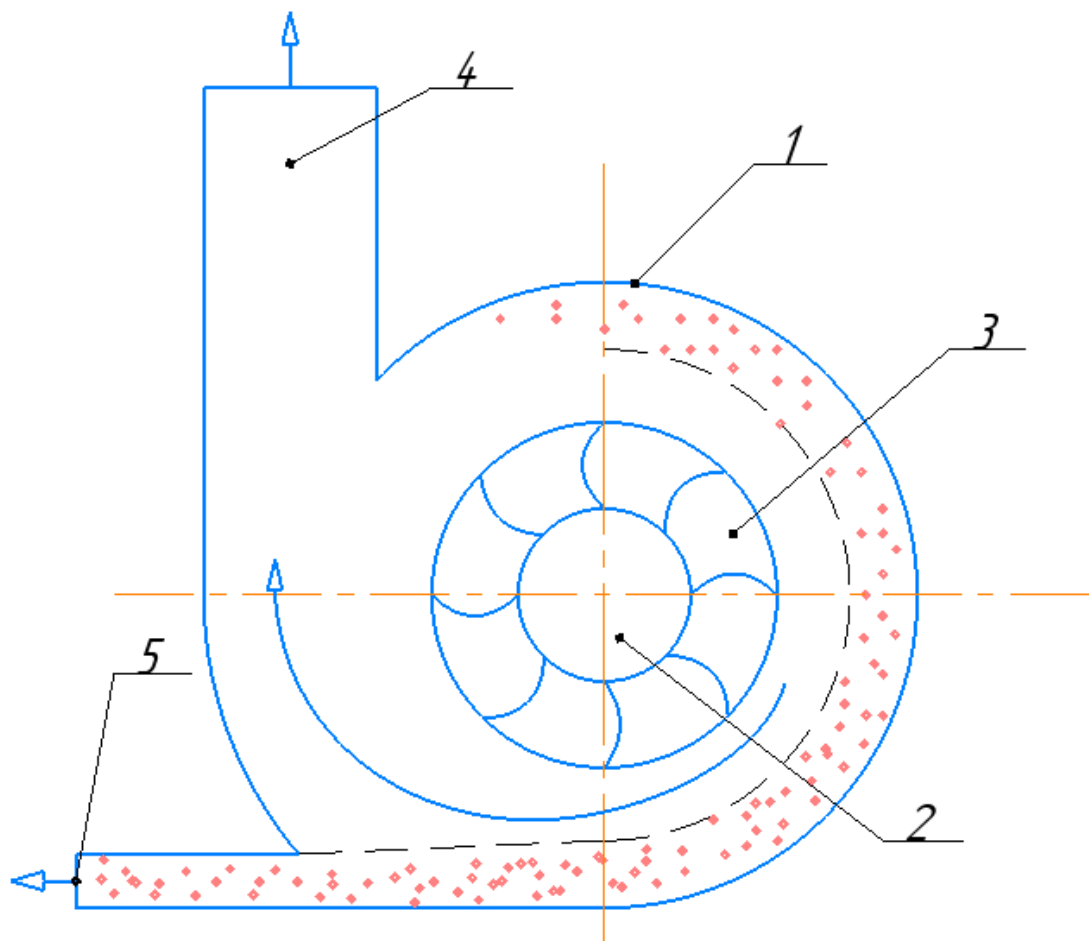


Рисунок 4. Схема центробежного пылеуловителя

1 – спиралеобразный кожух; 2 – входной патрубок; 3 – рабочее колесо; 4 – выхлопной патрубок; 5 – пыле-приёмный патрубок

В конструкции центробежных пылеуловителей ротационного действия главными элементами являются спиралеобразный кожух и рабочее колесо. Загрязненный воздух подается через входной патрубок и приводится во вращение рабочим колесом, при этом под действием центробежной силы и силы Кориолиса пыль находящаяся в газе отбрасывается к стенкам, по которым движется с частью газа к пыле-отводящему патрубку.

1.1.5 Циклонные аппараты

Циклонные аппараты (циклоны) наиболее распространены во всех сферах производства. Они имеют идеальное соотношение стоимости и эффективности. Циклоны очень просты в использовании и способны улавливать фракции пыли размером около 15мкм, что зачастую является достаточным.

Сепарация частиц в циклоне основана на воздействии центробежных сил на частицы. Центробежные силы возникают при вращении газового потока внутри корпуса циклона. Поток начинает вращаться внутри аппарата за счет тангенциального введения его в циклон, в редких случаях используется завихритель. Зачастую в системах пылеочистки циклонные аппараты являются второй ступенью очистки потока газа с концентрированным содержанием пыли. Первой ступенью иногда выступают вихревые разгрузители – концентраторы, принцип работы которых аналогичен принципу работы циклонных аппаратов. Схема циклона представлена на рисунке 5.

Запыленный поток воздуха поступает через входной патрубок и начинает раскручиваться за счет тангенциального введения потока, частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам циклона и начинают упорядоченно двигаться в сторону пылевыпускного отверстия 5, уже очищенный воздух разворачивается на 180 градусов и движется по центральной части потока к выхлопному патрубку 7, откуда поступает в систему воздуховодов.

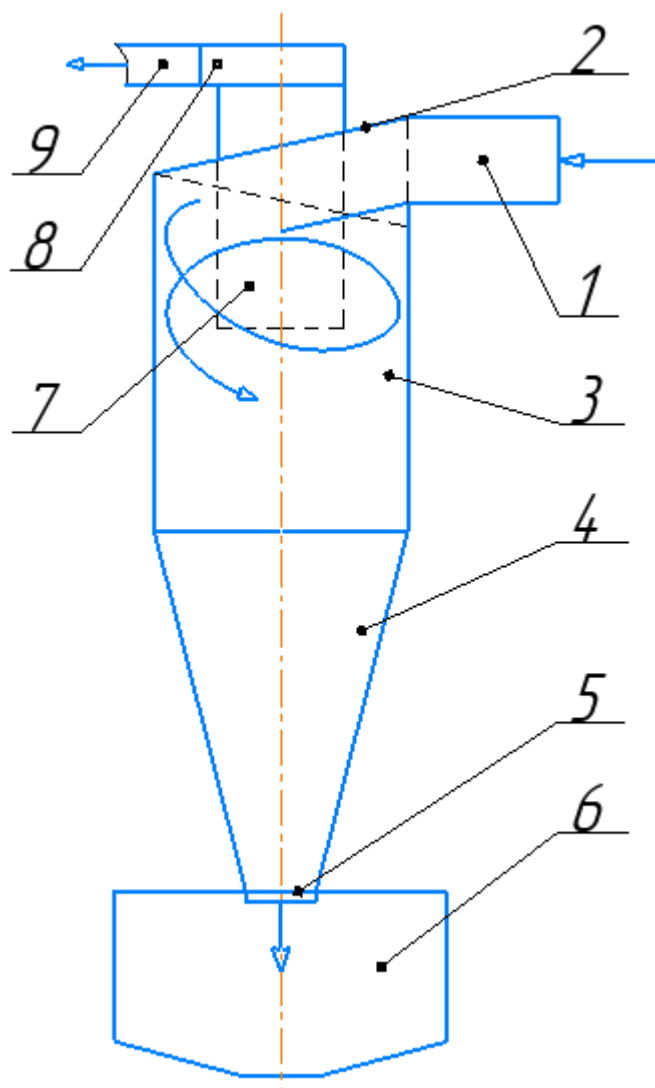


Рисунок 5. Схема циклона

1 – входной патрубок; 2 – наклонная крышка; 3 – цилиндрическая часть корпуса; 4 – коническая часть корпуса; 5 – пылевывпускное отверстие; 6 – пылесборник; 7 – выхлопной патрубок; 8 – раскручивающая улитка; 9 – выходной патрубок

Так как циклоны нашли широкое применение повсеместно, на сегодняшний день множество компаний занимается производством циклонов, такие как НИИОгаз (Научно-исследовательский институт очистки газов, г. Москва), ЛИОТ (Ленинградский институт охраны труда) и СИОТ (Свердловский институт охраны труда) и т.д.. Однако большим плюсом циклонов является то что их можно изготовить на не специализированных производствах и они не будут уступать заводским в эффективности.

Выбор типа и размера циклона производится в зависимости от заданного расхода воздуха, дисперсных свойств пыли, требуемой степени

очистки, требуемых габаритов установки, эксплуатационной надежности и располагаемых финансов. Наиболее распространенной проблемой при эксплуатации циклонов является истирание стенок дисперсным потоком. Поэтому для улавливания крупных частиц и твердой пыли рекомендуется использовать циклоны изготовленные из сталей высокой твердости.

Циклоны маленького размера зачастую обеспечивают большую эффективность в сравнении с крупногабаритными, поэтому производства с необходимостью высокоэффективной очистки больших объемов запыленного газа используют батарейные циклоны (мультициклоны). Батарейный циклон представляет собой большое количество одиночных циклонов соединенных параллельно. Все циклоны мультициклона соединены в один корпус с общим подводом и отводом потоков.

1.2 Физические основы осаждения пыли в аппаратах сухой инерционной очистки

Основным достоинством инерционных аппаратов перед остальными группами представленными в п. 1.1 является простота и дешевизна, а так же возможность их изготовления на не специализированных производствах. Очистку воздуха с помощью инерционных аппаратов применяют для воздушного потока запыленного частицами размером 25-30мкм, осаждение в поле силы тяжести избавляет от частиц размером 30-100мкм, наиболее эффективные аппараты использующие центробежную силу способны улавливать тонкую пыль до 5мкм.

С момента начала движения частицы в воздухе то есть в вязкой среде так же как и в водной возникает сила сопротивления этому движению F_c , которая в соответствии с законом Ньютона выражается следующим образом:

$$F_c = c_x F_q \frac{\rho_o w_o^2}{2}, \quad H \quad (1.1)$$

где w_o^2 - относительная скорость частицы и потока в котором она движется, м/с;

ρ_z - плотность газа в котором движется частица, кг/м³;

$F_{\text{ч}}$ - площадь сечения частицы, перпендикулярная к направлению движения;

C_x - коэффициент аэродинамического сопротивления.

Допустим что частицы пыли являются сферическими, тогда для сферических частиц $C_x = f(Re)$:

$$Re = \frac{w_o d_r}{\nu_z} = \frac{w_o d_{\text{ч}} \rho_z}{\mu_z} . \quad (1.2)$$

Для области ламинарного обтекания $Re \leq 2$:

$$C_x = \frac{24}{Re} . \quad (1.3)$$

Для переходного режима $2 < Re \leq 500$:

$$C_x = \frac{18,5}{Re^{0,6}} .$$

Для турбулентного режима $Re > 500$:

$$C_x = 0,44 .$$

В пределах значений $Re \leq 400$ можно пользоваться формулой

$$C_x = \frac{24}{Re} \left(1 + \frac{Re^{0,667}}{6} \right) .$$

Выражение (1.1) с учетом (1.2) и (1.3) (при ламинарном обтекании) принимает вид:

$$F = \frac{24\mu_z}{w_o d_{\text{ч}} \rho_z} * \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} * \frac{\rho_z w_o^2}{2} = 3\pi d_{\text{ч}} \mu_z w_o . \quad (1.4)$$

При осаждении частицы на нее действуют сила тяжести F_g и выталкивающая сила F_a :

$$F_g = mg = \rho_{\text{ч}} V_{\text{ч}} g = \rho_{\text{ч}} \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} g , \quad (1.5)$$

$$F_a = m_z g = \rho_z \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} g . \quad (1.6)$$

Частица находится в равновесии при условии:

$$F_g - F_a - F_c = 0$$

Объединяя (1.4), (1.5), и (1.6) получаем:

$$3\pi d_q \mu_z w_o = (\rho_q - \rho_z) \frac{\pi d_q^3}{6} g,$$

откуда

$$w_o = \frac{d_q^2 (\rho_q - \rho_z) g}{18 \mu_z}, \quad (1.7)$$

где w_o – скорость витания частицы – скорость направленного вверх вертикального потока газа, при которой данная частица будет удерживаться в занимаемом ею положении.

Решая уравнение (1.7) относительно d_q , получаем:

$$d_q = \sqrt{\frac{18 \mu_z w_o}{(\rho_q - \rho_z) g}}$$

Полученное выражение показывает, что при постоянной плотности ρ_z и вязкости среды μ каждой скорости витания соответствует свой размер частицы.

1.3 Оценка эффективности систем обеспыливания воздуха

Основным показателем характеризующим эффективность работы любых аппаратов по очистке газов от дисперсных примесей является коэффициент очистки, % [12]:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{M_{ул}}{M_{вх}} \cdot 100 = \frac{M_{вх} - M_{вых}}{M_{вх}} \cdot 100 = \frac{M_{ул}}{M_{ул} + M_{вых}} \cdot 100 = \\ &= \frac{c_{вх} Q_{вх} - c_{вых} Q_{вых}}{c_{вх} Q_{вх}} \cdot 100, \end{aligned} \quad (1.8)$$

где $M_{вх}$ – общая масса частиц, содержащихся в газах на входе в аппарат, $M_{ул}$ – общая масса частиц уловленных в аппарате, $M_{вых}$ – общая масса частиц, содержащихся на выходе из аппарата; $c_{вх}$, $c_{вых}$ – средние концентрации

частиц в газах на входе и на выходе из аппарата соответственно; $Q_{\text{вх}}$, $Q_{\text{вых}}$ – расход газов, поступающих в аппарат и выходящих из него.

Если $Q_{\text{вх}}=Q_{\text{вых}}$, что имеет место при абсолютной герметизации установки, то есть отсутствии присосов воздуха или утечке газов из аппарата, а также сильного увлажнения газов, то справедливо соотношение:

$$\eta = \left(1 - \frac{c_{\text{вых}}}{c_{\text{вх}}}\right) \cdot 100\%. \quad (1.9)$$

В тех случаях, когда необходимо оценить конечную запыленность или сравнить относительную запыленность газов на выходе из различных аппаратов, удобно пользоваться коэффициентом проскока (%), который связан с коэффициентом очистки соотношением[12]:

$$\varepsilon = 100 - \eta. \quad (1.10)$$

Каждая пылеулавливающая установка так же как и золоулавливающая в зависимости от условий ее эксплуатации и от дисперсного состава загрязнения может выдавать эффективность характеризуемую значением коэффициентов очистки [1].

Уровень совершенства любого пылеочистительного аппарата характеризуют достигаемые с его помощью фракционные или парциальные коэффициенты очистки при оптимальных по технико-экономическим соображениям условиях эксплуатации.

Фракционный коэффициент это отношение количества пыли данной фракции, уловленной в аппарате, к количеству пыли этой же фракции, на входе в аппарат.

Парциальный коэффициент это отношению количества частиц данного размера, уловленных в аппарате, к количеству частиц этого размера поданной в аппарат:

$$\eta = \frac{M_{\text{Фул}}}{M_{\text{Фвх}}} = \frac{M_{\text{ул}} \cdot \Phi_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}} \cdot \Phi_{\text{вх}}} = \eta \cdot \frac{\Phi_{\text{ул}}}{\Phi_{\text{вх}}}, \quad (1.11)$$

$$\eta = \frac{M_{N_{\text{ул}}}}{M_{N_{\text{вх}}}} = \frac{M_{\text{ул}} \cdot N_{\text{ул}}}{M_{\text{вх}} \cdot N_{\text{вх}}} = \eta \frac{N_{\text{ул}}}{N_{\text{вх}}}, \quad (1.12)$$

Обычно эти коэффициенты определяются экспериментально для каждой установки индивидуально, путем проведения соответствующих испытаний аппаратов. Полный коэффициент очистки может быть представлен в зависимости от фракционного (парциального) состава золы или пыли, входящей в аппарат, и от фракционного (парциального) коэффициента очистки:

$$\eta = \sum \eta_{\Phi} \frac{\Phi_{\text{ВХ}}}{100}; \quad (1.13)$$

$$\eta = \sum \eta_{\Pi} \frac{N_{\text{ВХ}}}{100} \cdot \Delta d_{\text{ч}}; \quad (1.14)$$

При подстановке в формулу (1.11) необходимо, чтобы интервалы размеров частиц для фракционного состава золы или пыли и для фракционных коэффициентов очистки совпадали. Суммы $\Phi_{\text{ВХ}}$ в формуле (1.12) и $N_{\text{ВХ}} \Delta d_{\text{ч}}$ в формуле (1.13) должны каждая составлять 100%. Формула (1.14) может быть записана более точно [12]:

$$\eta = \int_0^{\infty} \eta_{\Pi} \frac{N_{\text{ВХ}}}{100} \cdot \Delta d_{\text{ч}}; \quad (1.15)$$

Если построить графическую зависимость $\eta_{\Pi} = f(d_{\text{ч}})$ в вероятностно-логарифмической системе координат, в некоторых случаях этот график приобретает вид прямой линии, что свидетельствует о том, что она может быть записана в виде интеграла вероятности [12]:

$$\eta_{\Pi} = \int_{-\infty}^{\lg d_{\text{ч}}/d_{50}} \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_{\eta}} e^{-\frac{\lg^2 d_{\text{ч}}}{\lg^2 \sigma_{\eta}}} \cdot d \left(\frac{\lg d_{\text{ч}}}{d_{50}} \right), \quad (1.16)$$

где $\lg d_{\text{ч}}/d_{50}$ — логарифм отношения текущего размера частиц $d_{\text{ч}}$ к диаметру частиц d_{50} , осаждаемых с эффективностью 50%, $\lg \sigma_{\eta}$ — стандартное отклонение в функции распределения парциальных коэффициентов очистки. Значение d_{50} является точкой пересечения графика $\eta_{\Pi} = f(d_{\text{ч}})$ с осью абсцисс, а $\lg \sigma_{\eta}$ находят из соотношения:

$$\lg \sigma_{\eta} = \lg d_{84,1} - \lg d_{50}, \quad (1.17)$$

где $d_{84,1}$ - значение абсциссы, ордината которой равна 84,1%. Если распределение подлежащих улавливанию частиц по размерам является логарифмически-нормальным, а зависимость $\eta_{\Pi}=f(d_{\Pi})$ может быть записана в виде интеграла вероятности, то значение полного коэффициента очистки можно найти по формуле [12]:

$$\eta_{\Pi} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2}} dx = \Phi(x), \quad (1.18)$$

где, $x = \frac{\lg d_m/d_{50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_{\eta} + \lg^2 \sigma_{\chi}}}$, а d_m , $\lg \sigma_{\eta}$, d_{50} , $\lg \sigma_{\chi}$ - параметры, полностью

характеризующие дисперсный состав частиц и зависимость $\eta_{\Pi}=f(d_{\Pi})$ для данного аппарата. Дабы избежать громоздких и трудоемких вычислений с использованием вышеприведенных формул, можно воспользоваться номограммой (рисунок 6) [2], на которой сплошные линии соответствуют постоянным значениям η для различных значений $\lg \sigma_{\chi} / \lg \sigma_{\eta}$ и $\frac{\lg d_{50}/d_m}{\lg \sigma_{\chi}}$, отложенных по осям координат. Пунктирные линии соответствуют постоянным значениям η для второго аппарата в случае последовательной установки двух одинаковых аппаратов. Для возможности применения формул (1.13) - (1.15) и (1.18), а также рассмотренной номограммы необходимо, чтобы основные условия, для которых найдены значения фракционных или парциальных коэффициентов очистки, совпадали с условиями эксплуатации аппарата, для которых определяется значение полного коэффициента очистки. Это доказывает необходимость большого количества экспериментальных исследований для каждого аппарата в частности.

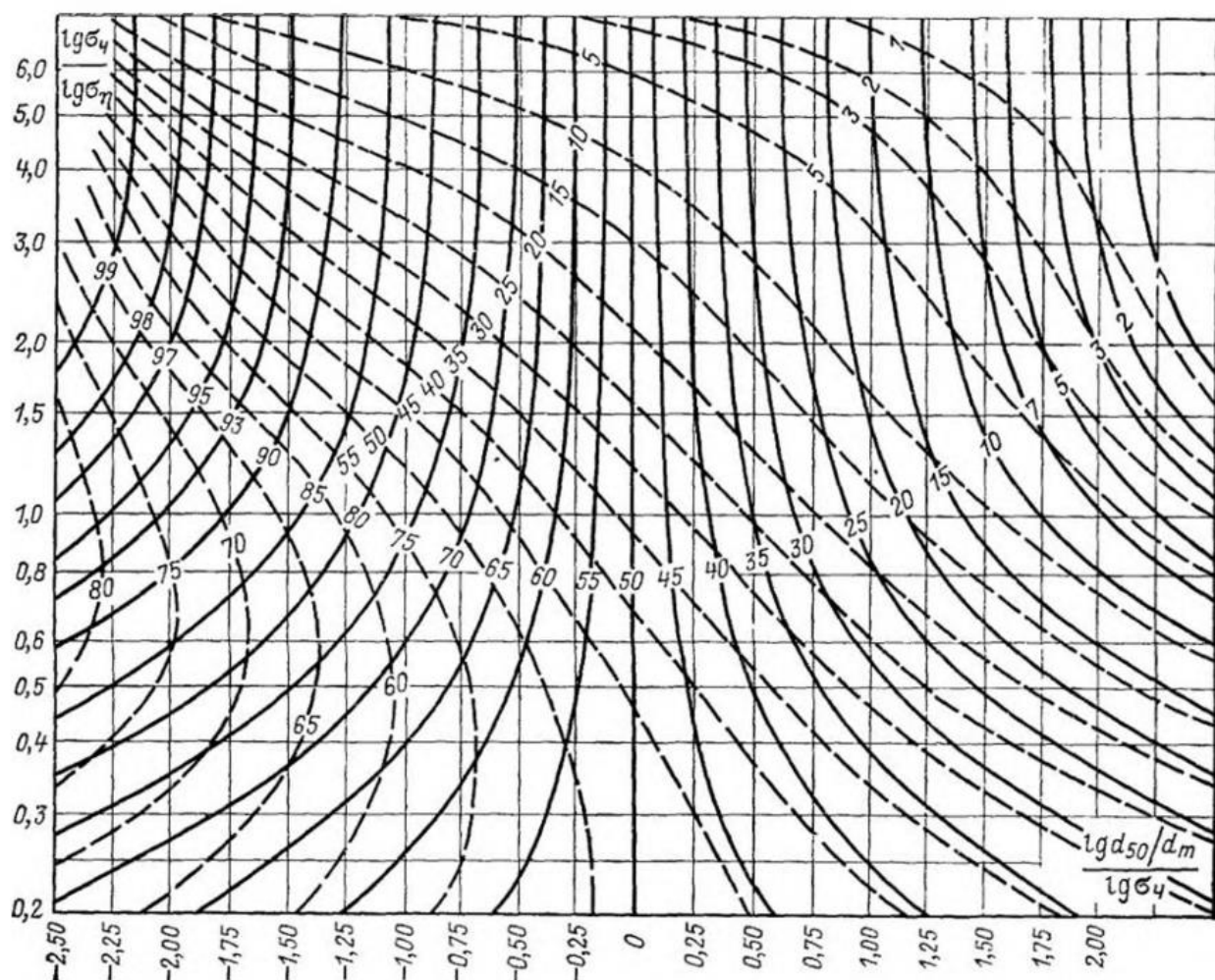


Рисунок 6. Номограмма для определения значения полного коэффициента очистки газа от дисперсной примеси

1.4 Обзор отдельных проектов по исследованию инерционных аппаратов

В настоящее время нет единого мнения какая форма циклона наиболее эффективна. Однако в последнее время при исследовании и создании современных циклонов все четче прослеживается тенденция использования конусной части. При тангенциальном втекании струи в циклон образуется парный вихрь который сливается с вторичными токами в верхней части аппарата. Парный вихрь образуется потому что скорость газа уменьшается по мере удаления от оси вращения, что вызывает возрастание давления. Наибольшее давление наблюдается в слоях воздуха, прилегающих к внешней границе потока. Из за разницы давлений воздух перетекает в

сторону низких давлений, при этом образуется вторичный поток (парный вихрь). Верхняя часть вторичного вихря устремляется по кратчайшему пути к выхлопному патрубку, в то время как нижняя распространяется вдоль образующих циклона, формируя восходящий поток циклона [3].

Эффективность циклонных аппаратов по большей части зависит от вторичных токов. Верхняя ветвь вихря может служить путем для выноса дисперсного материала в выхлопную трубу вместе с чистым воздухом, что категорически недопустимо. Для ослабления этого эффекта было предложено увеличить глубину погружения выхлопного патрубка. Однако исследования показали что при слишком глубоком погружении выхлопного патрубка эффективность вновь падает. Натурные испытания были проведены для различной глубины погружения выхлопного патрубка, при этом сам циклон был выполнен в форме обратного конуса без цилиндрической части. Экспериментальная установка представлена на рисунке 7 [3].

Не смотря на сложность конструкции данное исследование не оправдало ожидания. Так, эффективность данного аппарата при размере частиц дисперсного материала 40мкм не превышает 70%, что является совершенно неудовлетворительным результатом. Однако в данном исследовании доказана зависимость коэффициента полезного действия (КПД) аппарата от глубины погружения выхлопного патрубка при использовании циклона с обратным конусом. Однако мы проверим эту зависимость при использовании противоточного цилиндрического вихревого разгрузителя-концентратора. Так же в этой статье проведен анализ зависимости КПД от размера и плотности частицы, аналогичных опытных испытаний достаточное количество, и проводить их уже не имеет смысла.

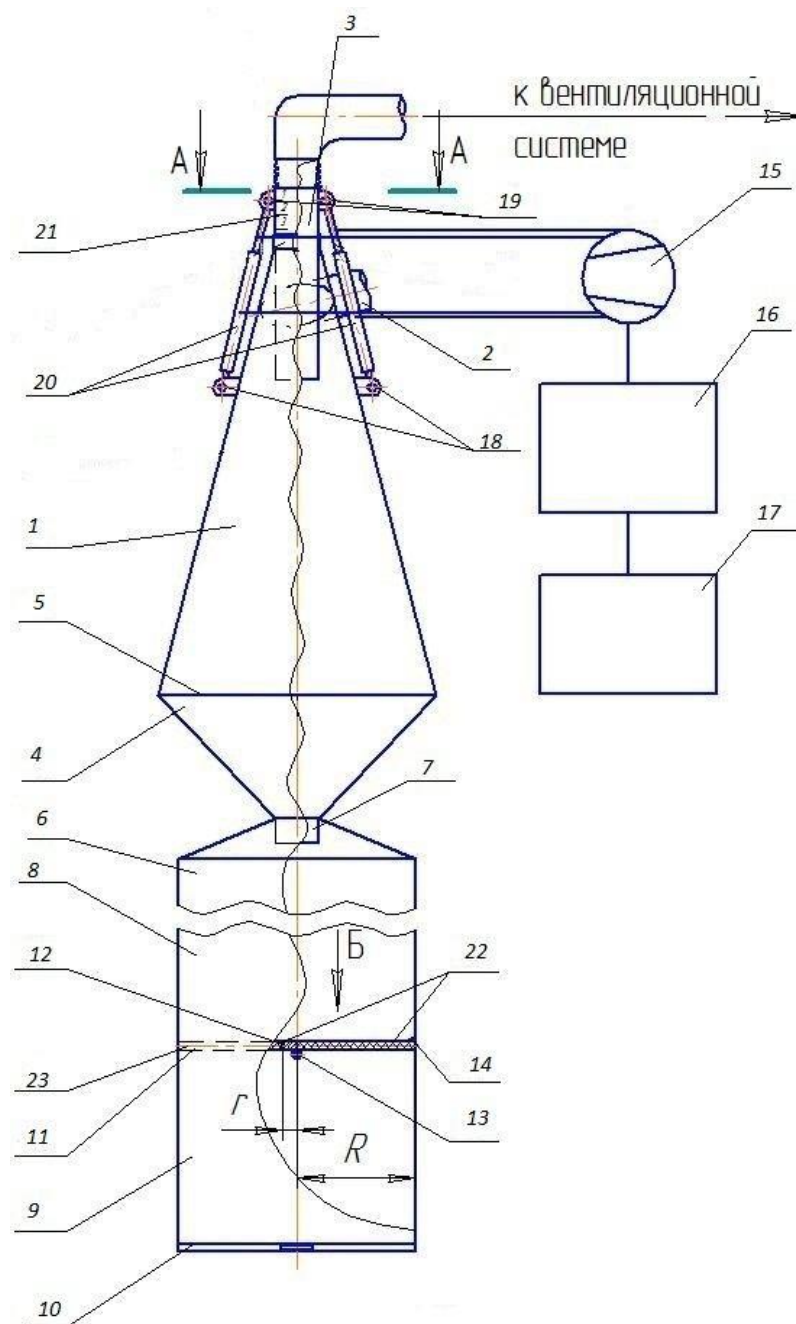


Рисунок 7. Схема циклонного аппарата с обратным конусом

1 - верхний конус циклона; 2 - входной патрубок; 3 - выхлопной патрубок; 4 - нижний конус циклона; 5 - основания конусов; 6 - пылесборник; 7 - патрубок; 8 - верхний отсек пылесборника; 9 - нижний отсек пылесборника; 10 - задвижка; 11 - перегородка; 12 - полукруглые люки; 13 - противовесы; 14 - ось, относительно которой вращается перегородка; 15 - нагнетательное устройство; 16 - блок управления; 17 - источник питания; 18 - кольцевой упор; 19 - проушины; 20 - основания пневмоцилиндров; 21 - выдвижные штоки пневмоцилиндров; 22 - шкала с делениями; 23 - кольцевой упор

Еще одним интересным исследованием является исследование вихревого разгрузителя-концентратора. А именно исследование зависимости эффективности сепарации частиц в зависимости от отводимого с пылеконцентратом воздуха. Чаще всего воздух насыщенный дисперсной составляющей потока направляется в выносной циклон, где и происходит полное отделение пыли. А воздух возвращается в систему. Есть некоторые опытные данные по данному способу усовершенствования вихревого разгрузителя-концентратора. Например при использовании цемента с радиальным диаметром частиц 25-28мкм наиболее эффективным стало количество воздуха отводимого вместе с концентратом около 15%. Однако в другом лабораторном испытании при использовании древесной пыли и стружки с размером частиц 80-250мкм достаточный процент отводимого воздуха составил 11%, что еще раз доказывает необходимость лабораторных испытаний каждого аппарата с каждым дисперсным составом. На работу инерционных аппаратов оказывает огромное влияние все внешние факторы, такие как температура, влажность воздуха, атмосферное давление. Исходя из чего, мы еще раз убеждаемся в актуальности данной тематики.

В одной из работ было предложено использование рельефных стенок в циклоне. Конструктивные особенности аппаратов с рельефными являются одними из наиболее интересных и мало изученных конструктивных решений. Одним из актуальных направлений современной гидродинамики и теплофизики является вихревая и струйная организация, а также самоорганизация на поверхностях траншейных покрытий в виде каверн, вихревых ячеек, которая позволяет существенно повысить эффективность теплообмена и снизить аэродинамическое сопротивление при обтекании таких поверхностей и предложить новые технические решения установок и аппаратов. Достаточно скудная информация по новым техническим способам и конструкциям пылеулавливающих устройств, использующим нетрадиционные решения, включающие в себя установку

внутренних рельефных поверхностей с отрывными зонами, дает право рассматривать предложенные решения направлением дальнейших экспериментальных и модельных исследований с целью понимания физического механизма вихревой интенсификации, управления и оптимизации процессов в сепарационных и пылеуловительных установках. В одной из немногих монографий посвященных применению рельефных стенок в инерционных аппаратах была разработана методика расчета а так же проведены лабораторные испытания. Результат данного исследования оказался положительным, особенно для циклонов малого диаметра. Так, эффективность пылеулавливания циклона диаметром 250 мм одинаковых энергозатратах и одинаковым составом загрязняющего вещества показали , что в процессе пылеулавливания с использованием последовательной компоновки циклона с рельефными поверхностями (рисунок 8а) можно достичь большей эффективности и очитки вплоть до 99,93 %, при тех же условиях традиционным циклоном мы достигаем эффективности – 99,7 % . В качестве дисперсного вещества при данном исследовании выступала угольная пыль со средним медиальным размером 36мкм, и плотностью 661-607 кг/м³ [7]. Помимо большей эффективности гидравлическое сопротивление циклона с рельефными стенками вдвое меньше гидравлического сопротивления классического циклона.

К сожалению лабораторное исследование циклонов с различными рифлениями стенки очень финансово и ресурсо-затратно. Поэтому невозможно должным образом изучить поведение потоков и эффективность циклонов с внутренними рифлениями стенок. Циклоны с внутренним рифлением стенок тяжелы в изготовлении и способны терять свои свойства со временем за счет истирания рельефа постоянным потоком дисперсного материала. Несмотря на все эти трудности циклонные аппараты такого типа нуждаются в более подробном изучении и внедрении в производства.

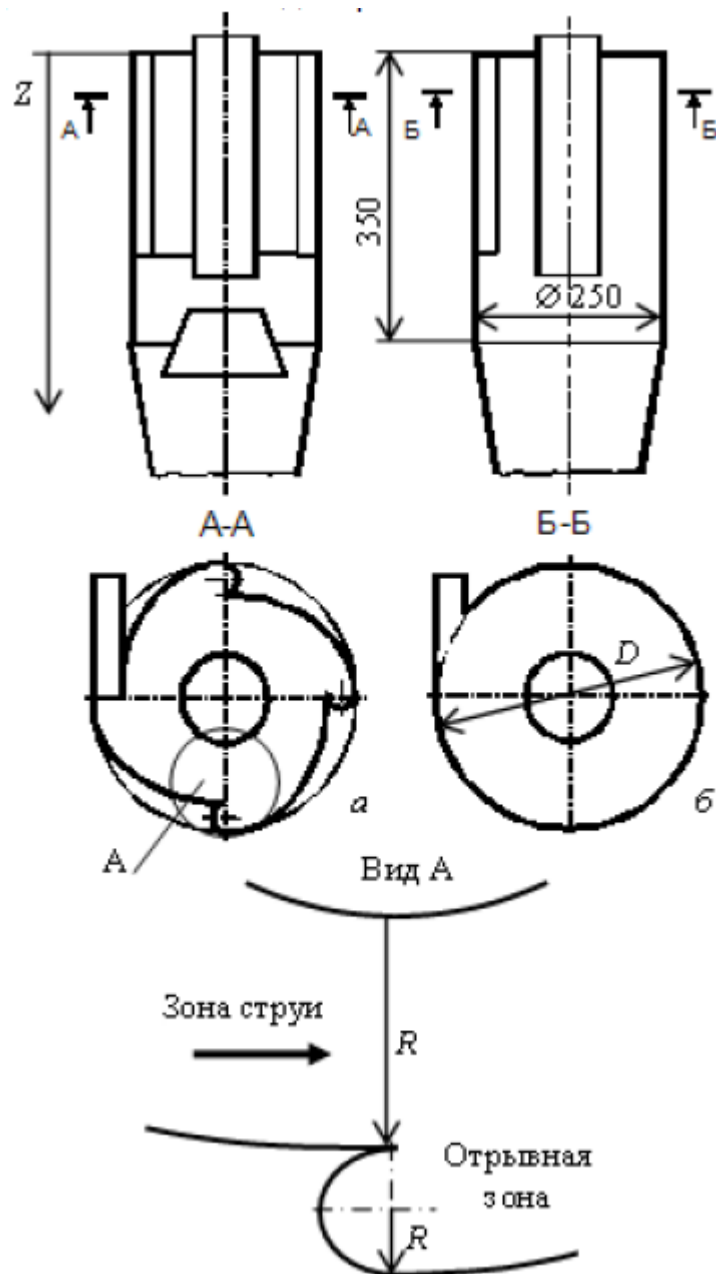


Рисунок 8. Схемы пылеуловителей

а – циклон с внутренним рифлением стенки; б – классический циклон

2 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Постановка задачи исследования

Основываясь на работах представленных в предыдущем пункте, было решено провести эксперимент по выявлению четкой зависимости эффективности установки от глубины погружения выхлопного патрубка. Однако мною были внесены некоторые изменения, а именно вместо циклона в форме обратного конуса был использован противоточный разгрузитель-концентратор, а так же дисперсный материал был заменен на более тонкий, но с большей плотностью. В качестве загрязняющего вещества был использован цемент марки М400.

Основной задачей исследования является разработка рекомендаций по использованию циклонных аппаратов в качестве воздухоочистителей. Было предпринято несколько попыток усовершенствования установки, а именно: изменение глубины погружения выхлопного патрубка противоточного разгрузителя-концентратора; добавление дополнительного противоточного циклона в систему воздухоочистки.

2.2 Описание установки и проведенных опытов

Для проведения данного исследования был использован лабораторный стенд, схема которого представлена в графическом приложении. Данная установка имеет три ступени пылеочистки:

В качестве первой ступени был использован противоточный пылеконцентратор изображенный на рисунке 9. Суть работы пылеконцентратора заключается в обогащении потока газа загрязняющим материалом за счет сепарации части газа. Запыленный газ поступает через входной патрубок тангенциально, раскручиваясь движется вдоль аппарата, при этом дисперсный материал за счет центробежной силы отбрасывается к стенкам пылеконцентратора при этом образуется два потока: один,

обогащенный пылью движется по периферии аппарата, в конце которого имеется патрубок для отвода высококонцентрированного газа в дополнительный пылеотделитель (выносной циклон); второй поток движется параллельно первому, но ближе к оси вращения потока, достигая боковой стенки поток разворачивается на 180° по горизонтальной оси и движется в сторону выхлопного патрубка, откуда подается в рукавный фильтр. То есть процессы сепарации и отвода пыли в противоточном пылеконцентраторе конструктивно разделены. На рисунке 9 сплошными тонкими линиями показано направление движение потоков.

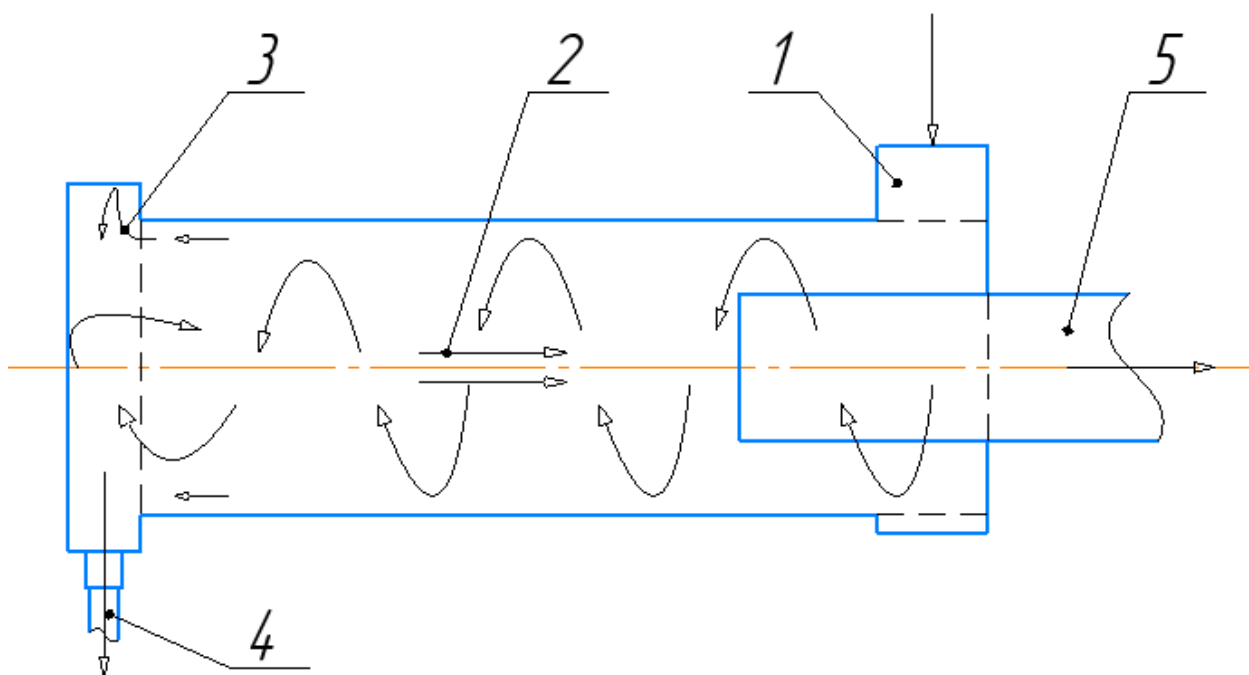


Рисунок 9. Схема противоточного концентратора

1 – входной патрубок; 2 – направление движения очищенного газа; 3 – направление движение газа обогащенного дисперсным материалом; 4 – отвод запыленного газа в выносной циклон; 5 – выхлопной патрубок

Скорость потока воздуха на входе в установку была измерена с помощью дифференциального манометра «Testo-512» подключенного красходомеру во впускном патрубке с внутренним диаметром 36мм, была измерена скорость входного потока, значение которой колебалось в пределах 20-22м/с. Этот тип манометра позволяет оценивать перепад между

статическим и полным давлением а так же измерять скорость потока из полученных данных.

В качестве второй ступени очистки воздуха был использован выносной противоточный циклонный аппарат, изображенный на рисунке 10. Противоточный циклон является наиболее эффективным осадителем дисперсных частиц. Его принцип работы схож с принципом работы концентратора, за исключением того что в циклоне имеется собственный приемник пыли, в котором, транспортирующий в него пыль поток газа, замедляет свое движение и формирует слой из частиц. Современные противоточные циклон способны показывать высокую эффективность даже при улове частиц около 10мкм.

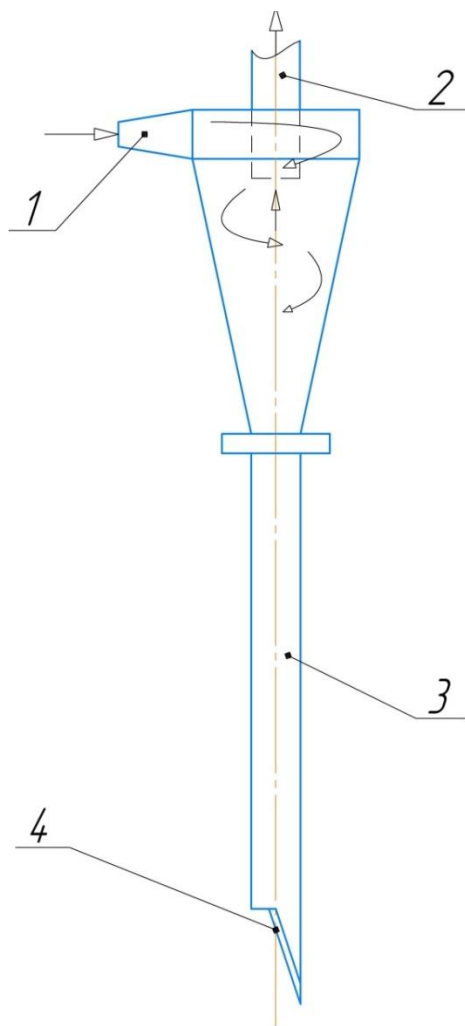


Рисунок 10. Схема противоточного циклона

1 – входной патрубок; 2 – выходной патрубок; 3 – пылесборник; 4 – клапан пылесборника

В противоточном циклоне основная часть взвешенных в газе частиц отбрасывается к стенке циклона, собираясь в своеобразные жгуты дисперсный материал упорядоченно движется вниз по конусовидной стенке. Проходя через пылевывпускное отверстие поток воздуха поступает в бункер где теряет скорость и меняет свое направление, за счет чего движущиеся в потоке частицы за счет силы инерции выпадают в бункере, а очищенный поток движется в сторону выхлопного патрубка. Клапан пылесборника 4 (рисунок 10) предназначен для сохранения давления в системе. Так как система работает под разряжением, любые отверстия в ней будут приводить к понижению скорости а соответственно и снижению эффективности аппарата.

Третьей ступенью очистки воздуха на нашем экспериментальном стенде является рукавный фильтр (рисунок 11), он предназначен для задержания материала не уловленного в пылеконцентраторе и выносном циклоне.

Тканевый фильтр является наиболее чувствительным элементом системы, в стабильной его работе большую роль играют не только используемый метод и режим регенерации, но так же способность ткани к регенерации. Способность ткани к регенерации характеризуется характером поверхности, гибкостью ткани и наличие специальной обработки фильтра. Основными причинами выхода из строя рукавных фильтров, а именно их разрывов, является повышенная гигроскопичность пылей либо высокая влажность среды.

Так же на рисунке 11 изображен центробежный вентилятор ВЦ, используемый для создания необходимого разряжения в системе. В исследовании использовался центробежный вентилятор производства НП ООО «Тайра» ВЦ 5-35 №4 3000об/мин. с производительностью $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ при разряжении 3000Па. В качестве газовой среды в опытах использовался воздух из аудитории с температурой 18-20 °С, и относительной влажностью 50%. Опыты проводились в помещении восемнадцатой аудитории четвертого

корпуса НИ ТПУ. Основные параметры и аэродинамические характеристики вентилятора приведены в паспорте оборудования.

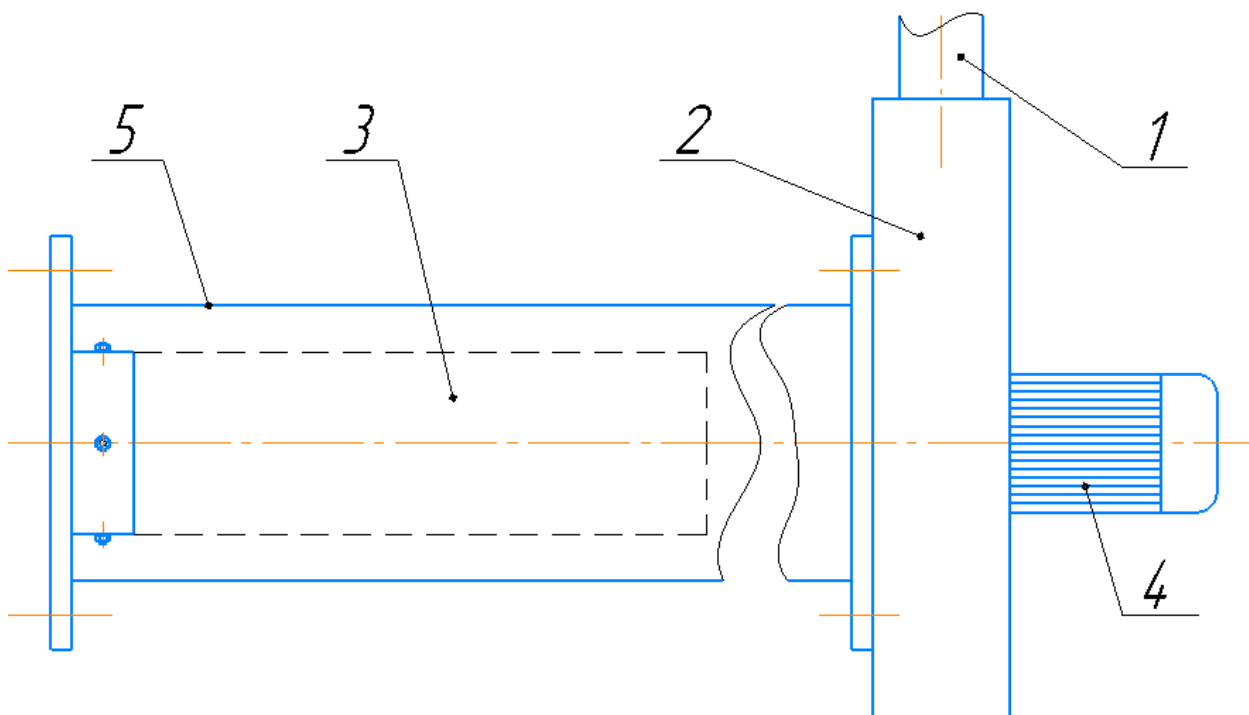


Рисунок 11. Схема рукавного фильтра и центробежного вентилятора

1 – выход очищенного воздуха в атмосферу; 2 – центробежный вентилятор; 3 – рукавный фильтр; 4 – электродвигатель; 5 – корпус рукавного фильтра

2.3 Обработка результатов

Исходными данными для проектирования устройств обеспыливания воздуха является информация о концентрации этой пыли, дисперсном составе, параметрах воздуха, свойствах частиц и и.д.. Способ получения этих сведений определяется условиями реализации проекта. Если для существующих производств разрабатывается система пылеочистки воздуха, то целесообразно использовать экспериментальные данные, поскольку существующие в настоящее время аналитические методы не совсем надежны, и не дают возможности установить необходимые значения с достаточной точностью. Однако для только разрабатываемых технологий метод теоретической оценки является единственным возможным.

Для проведения опытов был собран и настроен исследовательский стенд (графическое приложение). Который состоит из противоточного

пылеконцентратора, выносного противоточного циклона, рукавного фильтра и дутьевого вентилятора создающего необходимый перепад давлений. Имеется возможность изменения некоторых конструктивных параметров, а именно изменение глубины погружения выхлопного патрубка в противоточный пылеконцентратор, а так же имеется возможность подключения дополнительного циклона в систему. В качестве тестовой пыли использовался цемент марки М-400 со средним размером частиц 24мкм, и плотностью 2900кг/м³.

2.3.1 Расчет эффективности пылеулавливания противоточного пылеконцентратора при различной глубине погружения выхлопного патрубка

Схема пылеконцентратора использованного в лабораторных испытаниях представлена на рисунке 12, где l – длина рабочей зоны пылеконцентратора.

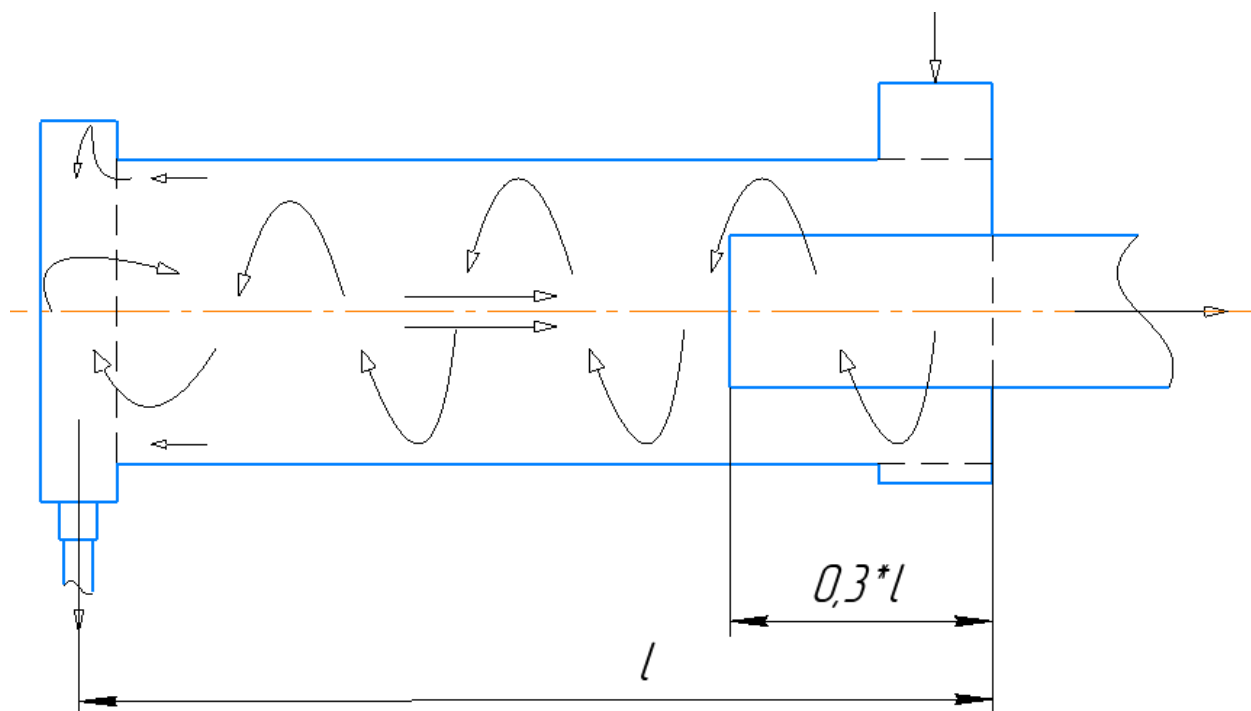


Рисунок 12. Схема противоточного концентратора с глубиной погружения 0,3l

Таблица 2 – экспериментальные данные для расчета эффективности пылеулавливания схемы с различной глубиной погружения выхлопного патрубка

Относительная глубина погружения выхлопного патрубка	№, п.п.	$D_{\text{вх.}}, \text{ м}$	$d_{\text{ч}},$ мм	$m_{\text{под}}, \text{ г}$	$m_{\text{улов}}, \text{ г}$	$m_{\text{улов}}^{\text{ср}},$ г	$m_{1\phi}, \text{ г}$	$m_{1\phi}^{\text{ср}}, \text{ г}$	$m_{2\phi}, \text{ г}$	$m_{2\phi}^{\text{ср}},$ г	t, мин	$\Delta h,$ мм. вод. ст.
0,31	1	0,036	24	50	39,8	39,5	125,3	125,4	134,8	134,4	10	34
	2				40,1		125,4		132,3			
	3				38,9		125,5		136,1			
	4				39,4		125,5		135,4			
	5				39,5		125,4		133,5			
0,51	1	0,036	24	50	41,9	42,7	125,4	125,5	130,5	130,7	10	32
	2				43,0		125,5		131,2			
	3				42,8		125,5		130,8			
	4				43,3		125,4		130,7			
	5				42,4		125,6		130,4			

Продолжение таблицы 2

0,71	1	0,036	24	50	46,8	47,1	125,4	125,4	127,1	127	10	29
	2				47,1		125,3		126,8			
	3				47,2		125,3		127,2			
	4				46,9		125,4		127,4			
	5				47,5		125,5		126,6			
0,81	1	0,036	24	50	49,5	49,45	125,3	125,3	125,8	125,7	10	27
	2				49,7		125,2		125,7			
	3				49,0		125,4		126,0			
	4				49,6		125,3		125,5			
	5				49,6		225,3		125,6			
0,91	1	0,036	24	50	47,1	46,7	125,3	125,4	128,1	127,9	10	30
	2				46,8		125,4		127,6			
	3				46,6		125,4		128,2			
	4				46,9		125,4		128,0			
	5				46,3		125,5		127,8			

В таблице 2 представлены экспериментальные данные для расчета эффективности противоточного пылеконцентратора: $D_{\text{вх.}}$ – диаметр входного патрубка, $d_{\text{ч}}$ – средний радиальный размер частиц дисперсного материала; $m_{\text{под}}$ – масса поданного материала; $m_{\text{улов}}$ – масса уловленного материала; $m_{1\text{ф}}$ – масса фильтра до начала опыта; $m_{2\text{ф}}$ – масса фильтра после окончания опыта; t – время проведения опыта; Δh – разряжение в системе.

Для глубины погружения выхлопного патрубка 0,31:

Массовый расход подаваемого материала:

$$Q_m = \frac{m_{\text{под}}}{t}, \text{ г/мин}; \quad (2.1)$$

$$Q_m = \frac{50}{10} = 5 \text{ г/мин} = 0,0833 \text{ г/с.}$$

Действительный перепад давления:

$$\Delta P = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot \Delta h, \text{ Па}, \quad (2.2)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды, кг/м^3 ;

$$\Delta P = 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,034 = 333,2 \text{ Па.}$$

Скорость потока воздуха:

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_{\text{в}}}}, \text{ м/с}, \quad (2.3)$$

где $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха кг/м^3 .

$$V = \sqrt{2 \cdot \frac{333,2}{1,28}} = 22,81 \text{ м/с.}$$

Площадь поперечного сечения входного патрубка:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2; \quad (2.4)$$

$$F = \frac{3,14 \cdot 0,036^2}{4} = 0,00102, \text{ м}^2$$

Тогда объемный расход:

$$Q_v = F \cdot V, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}; \quad (2.5)$$

$$Q_v = 22,81 \cdot 0,00102 = 0,0233, \text{ м}^3/\text{с.}$$

Концентрация запыленного потока составляет:

$$c = \frac{Q_m}{Q_v}, \text{ г/м}^3; \quad (2.6)$$
$$c = \frac{0,0833}{0,0233} = 3,58, \text{ г/м}^3.$$

Средняя масса фильтра до эксперимента:

$$m_{1\phi}^{\text{ср}} = \frac{\sum_1^5 m_{\phi 1}}{5}, \text{ г.} \quad (2.7)$$

Средняя масса фильтра после эксперимента:

$$m_{2\phi}^{\text{ср}} = \frac{\sum_1^5 m_{\phi 2}}{5}, \text{ г.} \quad (2.8)$$

Масса пыли осевшей в фильтре:

$$\Delta m_{\phi} = m_{2\phi}^{\text{ср}} - m_{1\phi}^{\text{ср}}, \text{ г;} \quad (2.9)$$
$$\Delta m_{\phi} = 134,4 - 125,4 = 9, \text{ г.}$$

Эффективность по улову:

$$\eta_{\text{ул}} = \frac{m_{\text{улов}}^{\text{ср}}}{m_{\text{под}}} \cdot 100\%; \quad (2.10)$$
$$\eta_{\text{ул}} = \frac{39,5}{50} \cdot 100\% = 79\%.$$

Эффективность по уносу:

$$\eta_{\text{унос}} = \frac{m_{\text{улов}}^{\text{ср}}}{m_{\text{улов}}^{\text{ср}} + \Delta m_{\phi}} \cdot 100\%; \quad (2.11)$$
$$\eta_{\text{унос}} = \frac{39,5}{39,5 + 9} \cdot 100\% = 81,4\%.$$

Расчет эффективности противоточного концентратора при других значениях уровня погружения выхлопного патрубка были проведены аналогично по формулам (2.1) - (2.11), результаты расчетов представлены в таблице

3.

Таблица 3 – Результаты расчета эффективности противоточного концентратора при различной глубине погружения выхлопного патрубка

Относительная глубина погружения выхлопного патрубка	Действительная скорость потока, V , м/с	Действительная концентрация дисперсного материала, c , г/м ³	Эффективность	
			По улову $\eta_{ул}$	По уносу $\eta_{унос}$
0,31	22,81	3,58	79	81,4
0,51	22,13	3,68	85,4	89,1
0,71	21,07	3,87	94,2	96,7
0,81	20,33	4,02	98,9	99,3
0,91	21,43	3,8	93,4	94,9

Для более наглядного представления зависимости построим графики. График зависимости эффективности по улову и по уносу противоточного концентратора от глубины погружения выхлопного патрубка представлены на рисунке 13(а, б).

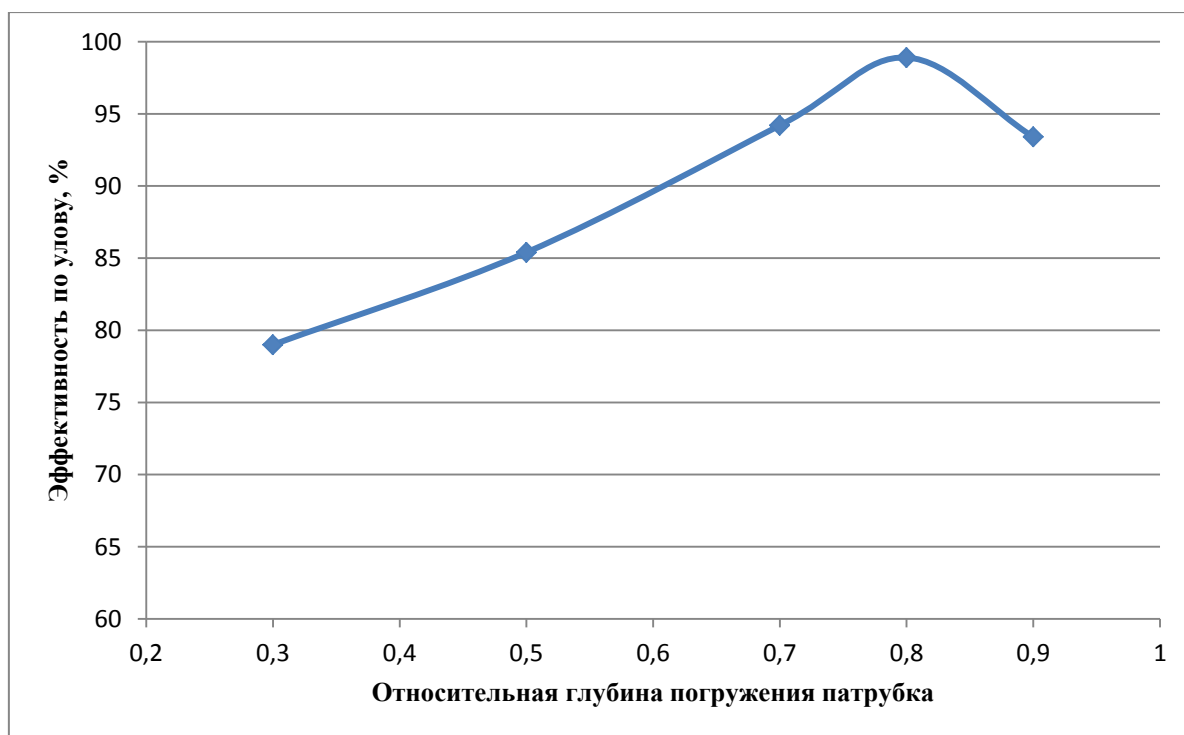


Рисунок 13а – зависимость эффективности по улову от глубины погружения выхлопного патрубка

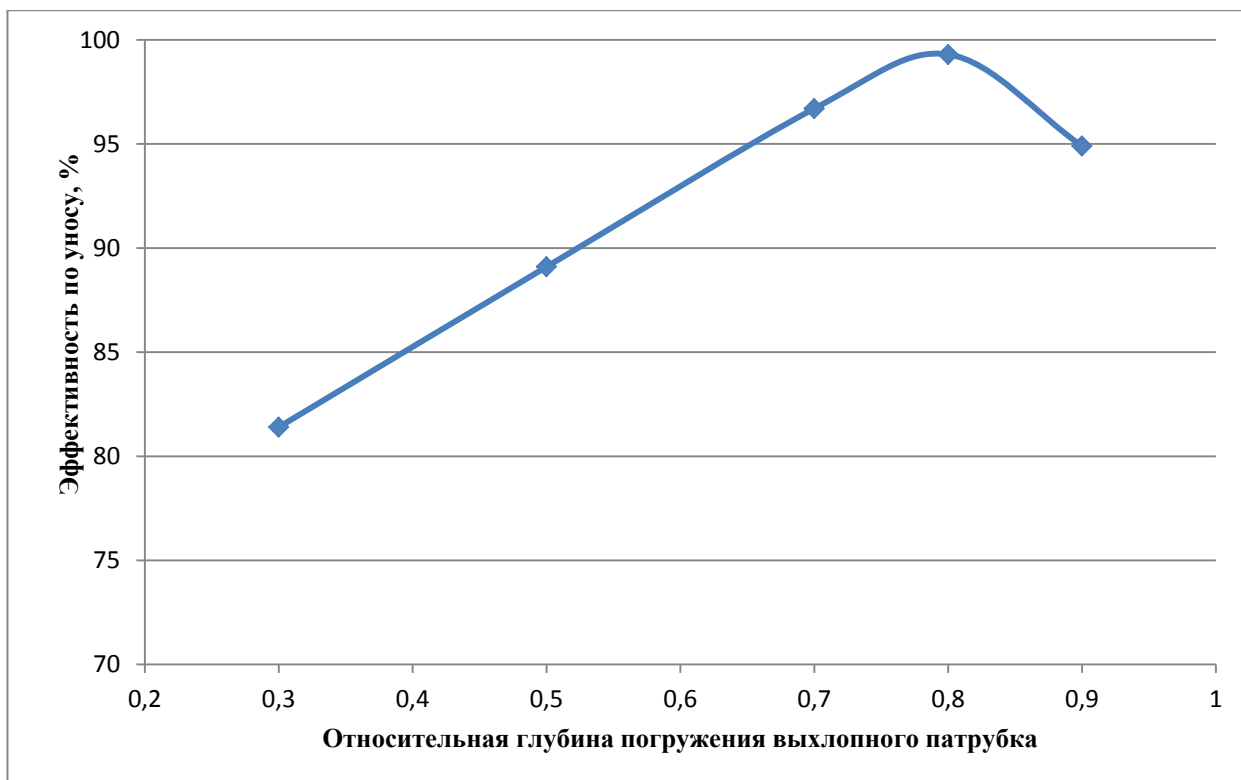


Рисунок 13б – зависимость эффективности по уносу от глубины погружения выхлопного патрубка

2.3.2 Методика расчета погрешности

Погрешность прямых измерений массы механических примесей на входе в противоточный цилиндрический концентратор и на выходе из него определяется, следующим образом:

- По результатам измерений величины массы механических примесей определяется среднее арифметическое из n опытов.

$$\tilde{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \text{ г}, \quad (2.12)$$

$$\tilde{m} = \frac{49,5 + 49,7 + 49 + 49,6 + 49,6}{5} = 49,45, \text{ г}.$$

- Вычисляется среднеквадратичное отклонение результатов испытаний от среднего арифметического:

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tilde{m} - m_i)^2}{n \cdot (n - 1)}}, \quad (2.13)$$

$$\tilde{\sigma} = \sqrt{\frac{(-0,05)^2 + (-0,25)^2 + (0,45)^2 + 2 \cdot (-0,15)^2}{5 \cdot (5 - 1)}} = 0,0125$$

- Для доверительной вероятности $\alpha=0,95$ и при количестве измерений n по таблице 4 определяется коэффициент Стьюдента $t_{\alpha n}$.

Таблица 4 – значения коэффициента Стьюдента

n	$t_{\alpha n}$ при $\alpha=0,95$
2	12,7
3	4,30
4	3,18
5	2,78
6	2,57
7	2,45
8	2,36
9	2,31
10	2,26
∞	1,96

- Рассчитываются границы доверительного интервала (случайная погрешность) для многократных измерений:

$$\Delta \widetilde{m}_{\text{сл}} = t_{\alpha n} \cdot \tilde{\sigma}; \quad (2.14)$$

$$\Delta \widetilde{m}_{\text{сл}} = 2,78 \cdot 0,0125 = 0,0347$$

- Рассчитывается инструментальная погрешность:

$$\Delta \widetilde{m}_{\text{ои}} = \alpha \cdot d; \quad (2.15)$$

где d – параметр равномерного распределения, связанный с классом точности или с ценой деления измерительного прибора.

$$\Delta \widetilde{m}_{\text{ои}} = 0,95 \cdot 0,05 = 0,0475.$$

Так как случайная погрешность меньше инструментальной, можно сделать вывод что количество опытов в серии достаточно для получения достоверного результата.

Определим доверительный интервал прямых измерений:

$$\Delta \tilde{m} = \sqrt{\Delta \tilde{m}_{\text{ои}}^2 + \Delta \tilde{m}_{\text{сл}}^2}; \quad (2.16)$$

$$\Delta \tilde{m} = \sqrt{0,0475^2 + 0,0347^2} = 0,0588.$$

Относительная погрешность измерения массы составила:

$$\delta = \frac{\Delta \tilde{m}}{\tilde{m}} \cdot 100\% \quad (2.17)$$

$$\delta = \frac{0,0588}{49,45} \cdot 100\% = 0,12\%$$

Аналогичным образом проводятся расчеты для нахождения доверительных интервалов других измерений в работе.

Доверительный интервал серии косвенных измерений величины эффективности процесса очистки определяется формулой:

$$\Delta \tilde{\eta} = \tilde{\eta} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta \tilde{m}_1}{\tilde{m}_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tilde{m}_2}{\tilde{m}_2}\right)^2}; \quad (2.18)$$

Тогда доверительный интервал серии косвенных измерений эффективности по улову, с глубиной погружения выхлопного патрубка 80%:

$$\Delta \tilde{\eta}_{\text{ул}} = 98,9 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,0588}{49,45}\right)^2 + \left(\frac{0,0849}{125,3}\right)^2} = 0,14.$$

Доверительный интервал серии косвенных измерений эффективности по улову, с глубиной погружения выхлопного патрубка 80%:

$$\Delta \tilde{\eta}_{\text{унос}} = 99,3 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,0588}{49,45}\right)^2 + \left(\frac{0,0849}{125,3}\right)^2} = 0,14.$$

2.4 Выводы по разделу

1) Анализ полученных результатов показал что эффективность воздухоочистки в цилиндрическом противоточном циклоне напрямую зависит от глубины погружения выхлопного патрубка.

2) После более глубокого анализа полученных результатов была выявлена оптимальная глубина погружения выхлопного патрубка, она составила 80% от рабочей длины концентратора.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Цыганков Михаил Андреевич

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Месячный оклад научного руководителя – 26300р Месячный оклад инженера – 17000р
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент учитывающий отпуск – 10% Районный коэффициент – 30%
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисление в социальные фонды принимаются равными 30% от затрат на заработную плату

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Планирование работ и оценка времени их выполнения
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Смета затрат на проект Смета затрат на оборудование
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Анализ полученных результатов

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. График проведения НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.18
--	----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель Отделения социально-гуманитарных наук	Н. Г. Кузьмина			10.03.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Цыганков М. А.		10.03.18

3 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСНАБЖЕНИЕ

Системы очистки воздуха применяются в современном производстве повсеместно. В химической, металлургической, деревообрабатывающей, пищевой промышленности воздухоочистительные аппараты применяют для улучшения санитарно-гигиенического состояния атмосферного воздуха в производственных помещениях. Циклонные аппараты являются наиболее надежными и сравнительно дешевыми аппаратами пылеочистки. Постоянное ужесточение требований к составу воздуха вынуждает увеличивать эффективность воздухоочистки, поэтому усовершенствование циклонных аппаратов является актуальной проблемой в современной энергетике.

3.1 Планирование работ и оценка времени их выполнения

В состав рабочей группы для выполнения научных исследований входят руководитель и инженер. У каждого из членов рабочей группы имеется необходимый план работ и график по которому эти работы выполняются.

Все виды выполняемых работ и временные затраты на их выполнение представлены в таблице 4, график проведения научного исследования представлен на рисунке 14.

Таблица 4 – Перечень работ и оценки времени их выполнения

№ п/п	Наименование работ	Исполнители	Продолжительность, дней
1	Выдача и получение задания	Инженер	1
		Научный руководитель	1
2	Обзор литературы по выбранной теме	Инженер	12
		Научный руководитель	-
3	Постановка целей и задач исследования (составление плана работы)	Инженер	5
		Научный руководитель	1

Продолжение таблицы 4

4	Выполнение графической части для подготовки стенда	Инженер	4
		Научный руководитель	1
5	Закупка и подготовка необходимого оборудования и материалов	Инженер	7
		Научный руководитель	3
6	Подготовка стенда к испытаниям	Инженер	4
		Научный руководитель	2
7	Проведение исследования на стенде	Инженер	28
		Научный руководитель	-
8	Анализ результатов исследований	Инженер	5
		Научный руководитель	1
	ИТОГО	Инженер	66
		Научный руководитель	9

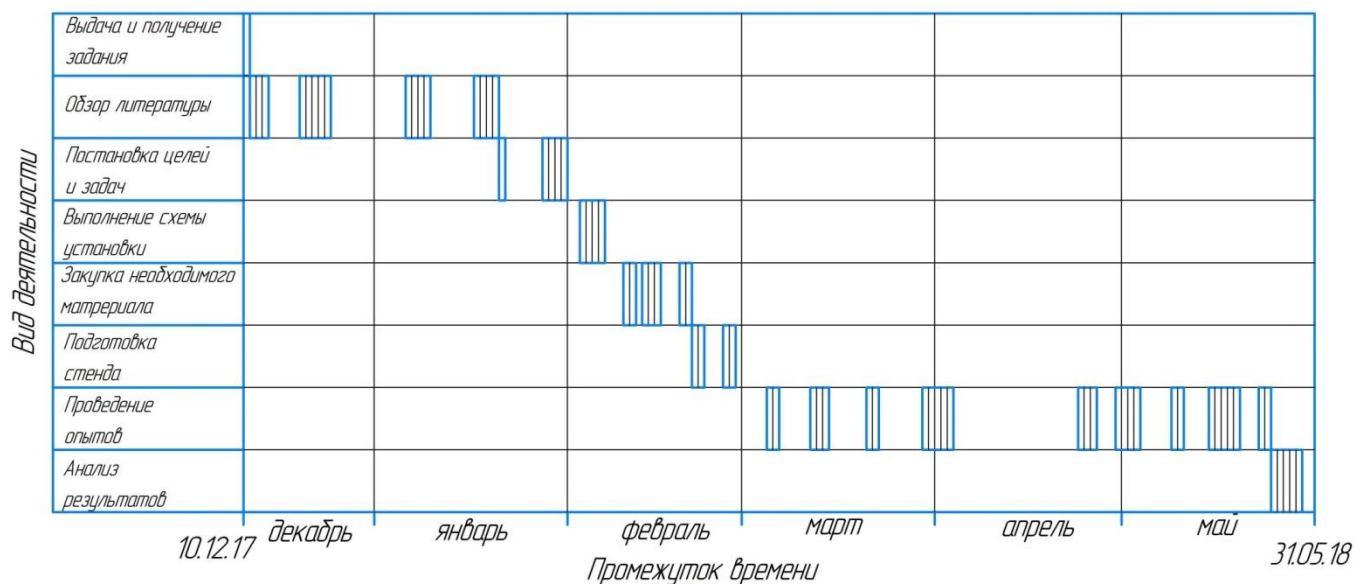


Рисунок 14. График проведения научного исследования

3.2 Смета затрат на проект

Определение общей сметы затрат на проект необходимо для расчета инвестиционных издержек, которые нам необходимо знать для анализа эффективности вложенных средств.

Совокупность затрат на проект определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{с.о}} + K_{\text{пр}} + K_{\text{накл}}, \text{ руб.}, \quad (3.1)$$

где $K_{\text{мат}}$ - материальные затраты; $K_{\text{ам}}$ - амортизация компьютерной техники; $K_{\text{з/пл}}$ - затраты на заработную плату; $K_{\text{с.о}}$ - затраты на социальные нужды; $K_{\text{пр}}$ - прочие затраты; $K_{\text{накл}}$ - накладные расходы.

3.2.1 Материальные затраты

Величина материальных затрат составила 2000 рублей на приобретение канцелярских товаров, необходимых для выполнения работы.

3.2.2 Амортизация компьютерной техники

Амортизация показывает уменьшение стоимости компьютерной техники, на которой выполнялась работа, вследствие ее износа. Экономическая сущность амортизации состоит в том, что организация путем амортизационных отчислений обеспечивает постепенное возмещение стоимости объекта. Делается это за счет включения в расходы ежемесячных сумм амортизации. Амортизация компьютерной техники рассчитывается как:

$$K_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.кт}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{кт}} \cdot \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ руб/год}, \quad (3.2)$$

где $T_{\text{исп.кт}}$ - время использования компьютерной техники; $T_{\text{кал}}$ - календарное время; $C_{\text{кт}}$ - цена компьютерной техники; $T_{\text{сл}}$ - срок службы компьютерной техники.

Тогда, по формуле (3.2):

$$K_{\text{ам}} = \frac{26}{365} \cdot 25000 \cdot \frac{1}{5} = 356,16, \text{ руб/год.}$$

3.2.3 Затраты на заработную плату

Затраты на заработную плату включают в себя выплаты всем исследователям занимающимся разработкой этого проекта, то есть заработные платы инженера и научного руководителя:

$$K_{з/пл} = ЗП_{инж}^{\phi} + ЗП_{нр}^{\phi}, \text{руб} \quad (3.3)$$

где $ЗП_{инж}^{\phi}$ - фактическая заработная плата инженера (инженер – 17000 руб.),
 $ЗП_{нр}^{\phi}$ - заработная плата научного руководителя (доцент – 26300 руб.).

Месячный оклад:

$$ЗП^M = ЗП_0 \cdot K_1 \cdot K_2, \text{руб}; \quad (3.4)$$

где $ЗП_0$ - месячный оклад (инженер 17000 руб., н.р. 27500 руб.); K_1 – коэффициент учитывающий отпуск, равен 1,1 (10%); K_2 - районный коэффициент, равен 1,3 (30%).

Тогда месячная заработная плата инженера и научного руководителя по формуле (3.4):

$$ЗП_{и}^M = 17000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 24310;$$

$$ЗП_{нр}^M = 26300 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 37609.$$

Фактическая заработная плата:

$$ЗП_{\phi} = \frac{ЗП_{мес}}{21} \cdot n^{\phi}, \text{руб}, \quad (3.5)$$

где $ЗП_{мес}$ - месячная заработная плата; 21- среднее число рабочих дней в месяце; n^{ϕ} - фактическое число дней в проекте.

По формуле (3.4):

$$ЗП_{инж}^{\phi} = \frac{24310}{21} \cdot 66 = 76402,86, \text{руб};$$

$$ЗП_{нр}^{\phi} = \frac{37609}{21} \cdot 9 = 16118,14, \text{руб};$$

$$K_{з/пл} = 76402,86 + 16118,14 = 92521, \text{руб}.$$

3.2.4 Затраты на социальные нужды

Затраты на социальные нужды принимаются как 30 % от затрат на заработную плату, они включают в себя отчисления в Фонд социального страхования Российской Федерации, Пенсионный фонд Российской Федерации, Государственный фонд занятости населения Российской Федерации и фонды обязательного медицинского страхования.

$$K_{\text{соц/н}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 0,3, \text{ руб.} \quad (3.6)$$

$$K_{\text{соц/н}} = 92521 \cdot 0,3 = 27756,3 \text{ руб.}$$

3.2.5 Прочие затраты

Прочие затраты принимаются как 10 % от суммы материальных затрат, амортизационных отчислений, затрат на заработную плату и затрат на социальные нужды.

$$K_{\text{пр}} = (K_{\text{мат}} + K_{\text{ам}} + K_{\text{з/пл}} + K_{\text{соц/н}}) \cdot 0,1, \text{ руб.} \quad (3.7)$$

$$K_{\text{пр}} = (2000 + 1027,5 + 92521 + 27756,3) \cdot 0,1 = 12330,5 \text{ руб.}$$

3.2.6 Накладные расходы

Накладные расходы – дополнительные к основным затратам расходы, необходимые для обеспечения процессов производства, связанные с управлением, обслуживанием, содержанием и эксплуатацией оборудования. Накладные расходы принимаются в размере 200 % от затрат на заработную плату.

$$K_{\text{накл}} = K_{\text{з/пл}} \cdot 2, \text{ руб.} \quad (3.8)$$

$$K_{\text{накл}} = 92521 \cdot 2 = 185042 \text{ руб.}$$

Таким образом сумма затрат на проект по формуле (3.1) составляет:

$$K_{\text{пр}} = 2000 + 356 + 92521 + 27756 + 12330 + 185042 = 320005, \text{ руб.}$$

Смета затрат на проект представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Смета затрат на проект

№ п/п	Элементы затрат	Стоимость, руб
1	Материальные затраты	2000
2	Амортизация компьютерной техники	356,16
3	Затраты на заработную плату	92521
4	Затраты на социальные нужды	27756,3
5	Прочие затраты	12330,5
6	Накладные расходы	185042
Итого:		320005,96

3.3 Смета затрат на оборудование и монтажные работы

В таблице 6 представлен перечень используемого оборудования в проекте и его стоимость.

Таблица 6 – смета затраты на оборудование

Наименование	Цена за единицу, руб.	Количество, шт.	Суммарная цена, Руб.
Противоточный концентратор	2 000	1	2 000
Противоточный циклон	1 000	2	2 000
Резиновый шланг	200	1	200
Гофрированные трубки	250	2	500
Итого (И_{обор}):			4700

Затраты на монтажные работы, транспортировку и демонтаж оборудования составляют 10 % от суммы затрат на технические средства:

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot I_{\text{обор}}, \text{ руб.} \quad (3.9)$$

где $I_{\text{обор}}$ - затраты на оборудование.

$$I_{\text{монт}} = 0,1 \cdot 4700 = 470 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты на оборудование, монтажные работы и транспортировку:

$$I_{\text{итог}} = I_{\text{обор}} + I_{\text{монт}}; \quad (3.10)$$

Тогда:

$$I_{\text{итог}} = 4700 + 470 = 5170 \text{ руб.}$$

В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель, а именно были разработаны рекомендации по работе аппаратов пылеулавливания. Получена зависимость эффективности установки от глубины погружения выхлопного патрубка в циклонный аппарат. Наиболее эффективной оказалась установка с глубиной погружения выхлопного патрубка $0,8l$, где l – рабочая длина концентратора. Эффективность по улову составила $\eta_{ул} = (98,90 \pm 0,14)\%$, а эффективность по уносу $\eta_{унос} = (99,30 \pm 0,14)\%$. При этом аэродинамическое сопротивление установки является наибольшим, скорость потока составила $20,3 \text{ м/с}$ при концентрации дисперсного материала 4 г/м^3 . Как видно, в результате мы получили повышение эффективности установки, что оправдывает материальные затраты на исследование.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5Б4Б	Цыганкову Михаилу Андреевичу

Инженерная школа энергетики		Научно-образовательный центр И.Н. Бутакова	
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Тема: «Исследование процесса обеспыливания воздуха в циклонных аппаратах»</p> <p>Объектом исследования являются инерционные аппараты. Обеспыливание воздуха применяется в различных сферах промышленности: химической, металлургической, деревообрабатывающей и т.д. Обеспыливание применяют для улучшения санитарно-гигиенического состояния воздуха в рабочих помещениях а так же для уменьшения вредного влияния дымовых газов на окружающую среду.</p>
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> - анализ вредных и опасных факторов - общая характеристика помещения - производственный шум - электромагнитные и электростатические поля - ионизирующие излучения
2. Охрана окружающей среды	<ul style="list-style-type: none"> - анализ влияния объекта исследования на окружающую среду - анализ влияния процесса исследования на окружающую среду
3. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	<ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны), правовые нормы трудового законодательства - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны
4. Пожарная безопасность	<ul style="list-style-type: none"> - анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований - анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований - мероприятия по предотвращению ЧС

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	10.03.18
---	-----------------

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент Отделения контроля и диагностики	М. В. Василевский	к.т.н., доцент		10.03.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5Б4Б	Цыганков Михаил Андреевич		10.03.18

4 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Социальная ответственность – это сознательное отношение какого-либо субъекта социальной деятельности к требованиям социальной необходимости, социальных ценностей, норм, задач и правил, а также гражданского долга, понимание субъектом последствий осуществляемой деятельности для определенных социальных групп и личностей, для социального прогресса общества.

Социальная ответственность подразделяется на корпоративную и индивидуальную. Корпоративная социальная ответственность – это идея в рамках которой организации учитывают интересы общества и возлагают на себя ответственность за влияние их деятельности на фирмы и прочие заинтересованные стороны современного общества. Согласно данной концепции организации добровольно принимают дополнительные меры для повышения качества жизни работников, их семей, а также местного сообщества и общества в целом. При этом корпорации получают многочисленные преимущества от того, что работают на более широкую и продолжительную перспективу, чем собственная краткосрочная прибыль. Среди социальных вопросов на производстве особое место занимают работа по охране труда, окружающей среды и в чрезвычайных ситуациях.

Оптимизация инерционных аппаратов для очистки воздуха приведет к улучшению условий труда и санитарно-гигиенической обстановки в различных отраслях производства. При очистке инерционными аппаратами дымовых газов значительно уменьшатся вредные выбросы в атмосферу, улучшится экологическая ситуация районов прилежащих к месту выбросов.

4.1 Производственная безопасность

Целью данного раздела является выявление и анализ вредных и опасных факторов труда, определение необходимых мер защиты от них работающего персонала, оценка условий труда, микроклимата среды и

предоставление рекомендаций по созданию оптимальных условий труда. Рассматриваются вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды.

Основные работы выполнены в 4-ом корпусе Томского Политехнического Университета (аудитория №18).

4.1.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Поскольку работа за ЭВМ – это интеллектуальный труд, в рабочее время основная нагрузка у пользователя ЭВМ падает на центральную нервную систему. В связи с этим условия, в которых протекает работа, оказывают влияние на деятельность мозга. Длительная и интенсивная работа на компьютере может стать источником тяжелых профессиональных заболеваний.

Работа инженера тесно связана с компьютерной техникой, поэтому возникает дополнительное воздействие целой группы факторов, которые существенно снижают производительность труда. К таким факторам можно отнести: воздействие вредных излучений от монитора и компьютера, воздействие электромагнитных излучений, неправильная освещенность, ненормированный уровень шума, некомфортные метеорологические условия, высокое напряжение и другие.

4.1.2 Общая характеристика помещения

Объем рабочего помещения, где находится рабочее место разработчика, составляет 120 м^3 , при ширине равной 5 м, длине 8 м и высоте помещения 3 м. Площадь, соответственно равна 40 м^2 . В данном помещении работает два человека. Следовательно, на одного человека приходится около 60 м^3 объема помещения и 20 м^2 площади, что в результате удовлетворяет требованиям санитарных норм СанПиН 2.2.2.542-96, согласно которым для одного работника-оператора должны быть предусмотрены площадь

величиной не менее 6 м^2 и объем не менее 24 м^3 , с учетом максимального числа одновременно работающих в смену.

В рабочем помещении отсутствует принудительная вытяжная вентиляция. Имеется лишь естественная вентиляция. При естественной вентиляции на одного работающего человека необходим объем 40 м^3 (согласно СНиП 2.04. 05-91). Таким образом, можно сделать вывод, что в данном помещении естественной вентиляции достаточно. В итоге можно сказать, что санитарные нормы соблюдены.

4.1.3 Производственный шум

К числу неблагоприятных факторов при выполнении работы инженером относится шум. При длительном воздействии на организм человека шум вызывает снижение остроты зрения, слуха, повышение кровяного давления, снижение внимания и т.д. Основным источником производственного шума в аудитории является центробежный вентилятор, запускаемый на время проведения опытов и шум работающих ЭВМ, питающие устройства и другие технические элементы. В соответствии с ГОСТ 12.1.003–83, в помещениях конструкторских бюро, расчетчиков, программистов установлен допустимый уровень звука, равный 50 дБА. Шумящее оборудование, уровни шума которого превышают нормированные, должно находиться вне помещения с ЭВМ. Реально существующий уровень шума в рассматриваемом помещении превышает допустимый уровень и составляет 65 дБА. Для создания благоприятных условий не рекомендуется проводить работу на ЭВМ во время проведения опытов в аудитории. Уровень шума в помещении при работе оператора на научно-исследовательском стенде не должен превышать 75 дБА, что удовлетворяет требованию ГОСТ 12.1.003–83.

4.1.4 Электромагнитные и электростатические поля

При работе с персональными компьютерами возникают электромагнитные поля (ЭМП). Источниками ЭМП являются видеотерминалы (ВДТ) на электронно-лучевых трубках.

Электромагнитное поле обладает способностью биологического, специфического теплового воздействия на организм человека. Последствия длительного воздействия электромагнитного поля могут быть следующие: повышенная утомляемость, головная боль, сонливость, боль в области сердца, гипертония, нарушение условно-рефлекторной деятельности, изменения межнейронных связей. Указанные явления могут быть слабо, умеренно или явно выражены.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, напряженность ЭМП на расстоянии 50 см. вокруг ВДТ по электрической составляющей, должна быть не более:

- 5 Гц – 2 кГц в диапазоне низких частот (25 В/м);
- 2 – 400 кГц в диапазоне высоких частот (2,5 В/м).

Все компьютеры, находящиеся в аудитории, поддерживают международный стандарт безопасности ТСО 95. Величина излучения от монитора, соответствующего этому стандарту составляет не более:

- 5 Гц – 2 кГц в диапазоне низких частот (10 В/м);
- 2 – 400 кГц в диапазоне высоких частот (1 В/м),

т.е. уровень напряженности не превышает установленных норм.

Электростатическое поле возникает в результате облучения экрана потоком заряженных частиц. Неприятности, вызванные им, связаны с пылью, накапливающейся в электростатически заряженных экранах, которая летит на оператора во время его работы за монитором. Это может служить причиной кожных заболеваний, порчи контактных линз. Эксперты полагают, что низковольтный электромагнитный разряд способен изменять и прерывать клеточное развитие.

Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. Мониторы, удовлетворяющие стандарту ТСО 95, имеют электростатический потенциал, не превышающий 500В, это вполне соответствует требованиям безопасности.

4.1.5 Ионизирующее излучение

К числу вредных факторов для инженеров-программистов относится излучение. Источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить торможение функций кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям.

При работе дисплеев возникают побочные эффекты: генерация рентгеновского излучения от экрана и отражение. Для устранения последнего все дисплеи размещены вдоль стен. Прямое рентгеновское излучение уменьшается за счет специального внутреннего покрытия экрана монитора и установки дополнительного защитного фильтра.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, доза рентгеновского излучения на расстоянии 0,05 м от экрана ПЭВМ не должна превышать 0,1 мбэр/час. Анализ радиационно-гигиенических характеристик отечественных телевизоров показывает, что мощность дозы уже на расстоянии 10 см от экрана не превышает предельных значений. Учитывая, что уровень излучения от экрана монитора имеет такое же, а в некоторых случаях меньшее, значение можно сделать вывод, что уровень излучения находится в пределах допустимого.

4.2 Охрана окружающей среды

Сегодня состояние окружающей среды требует от создателей новых технологий и машин пристального внимания к вопросам экологии. Любое

техническое решение должно приниматься с учетом не только технологических и экономических требований, но и экологических аспектов.

Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является безотходная технология. Под понятием «безотходная технология» следует понимать комплекс мероприятий в технологических процессах, от обработки сырья до использования готовой продукции. В результате чего сокращается до минимума количество вредных выбросов и уменьшается воздействие отходов на окружающую среду до приемлемого уровня. В этот комплекс мероприятий входят:

- создание и внедрение новых процессов получения продукции с образованием наименьшего количества отходов;
- разработка различных типов бессточных технологических систем и водооборотных циклов на базе способов очистки сточных вод;
- разработка систем переработки отходов производства во вторичные материальные ресурсы;
- создание территориально-промышленных комплексов, имеющих замкнутую структуру материальных потоков сырья и отходов внутри комплекса.

В области создания и внедрения безотходной технологии успехи достигнуты в ряде отраслей промышленности, однако полный перевод ведущих отраслей промышленности на безотходную технологию потребует решения большого комплекса весьма сложных технологических, конструкторских и организационных задач. Поэтому до всестороннего внедрения безотходной технологии важными направлениями экологизации промышленного производства считаются:

- совершенствование технологических процессов и разработку нового оборудования с меньшим уровнем выбросов примесей и отходов в окружающую среду;
- замена токсичных отходов на нетоксичные;

- замена не утилизируемых отходов на утилизируемые;
- применение пассивных методов защиты окружающей среды.

Пассивные методы защиты окружающей среды включают комплекс мероприятий по ограничению выбросов промышленного производства с последующей утилизацией или захоронением отходов. К их числу относятся:

- очистка сточных вод от примесей;
- очистка газовых выбросов от вредных примесей;
- рассеивание вредных выбросов в атмосфере;
- глушение шума на путях его распространения;
- мероприятия по снижению уровней инфразвука, ультразвука и вибраций на пути их распространения;
- экранирование источников энергетического загрязнения окружающей среды;
- захоронение токсичных и радиоактивных веществ.

Следует отметить, что проблема защиты окружающей среды требует усилий специалистов разного профиля. Особое значение имеет количественная оценка последствий загрязнения окружающей среды и оценка ущерба, нанесенного населению. В настоящей работе проводились исследования для проектирования новых пылеулавливающих аппаратов, обладающих повышенной эффективностью сепарации твёрдых примесей загрязняющих веществ.

4.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В аудитории используются средства вычислительной техники, поэтому необходимо проведение организационных и технических мероприятий, призванных обеспечить защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги и статического электричества. Разработка мероприятий и требований, направленных на

устранение этих причин позволяет создать безопасные и благоприятные условия для труда человека.

Поражение человека электрическим током или электрической дугой может произойти в следующих случаях:

- при прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ;
- при однофазном (однополюсном) прикосновении незаземленного от земли человека к незаземленным токоведущим частям электроустановок, находящихся под напряжением;
- при прикосновении к нетокующим частям, находящимся под напряжением, то есть в случае нарушения изоляции;
- при соприкосновении с полом и стенами, оказавшимися под напряжением;
- при возможном коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания, блоке развертки монитора.

Кроме того, не следует работать в условиях повышенной влажности (более 75%), высокой температуры (более 35 °C), наличии токопроводящей пыли или токопроводящих полов. Рабочее помещение по опасности электропоражения относится к помещениям без повышенной опасности, так как является сухим помещением с нормальной температурой воздуха, отсутствием пыли, изолирующими полами из ПВХ.

Во время работы с ПК для предупреждения электротравматизма очень важно проводить соответствующие организационные и технические мероприятия. К организационным мероприятиям относятся: доступ к работе, надзор во время работы, оформление перерыва в работе, переводов на другое рабочее место, окончания работы, вводный инструктаж на рабочем месте. Основными техническими мероприятиями являются: отключение оборудования на участке, выделенном для производства работ, и принятие мер против ошибочного или самопроизвольного включения; ограждение при необходимости рабочих мест и оставшихся под напряжением токоведущих

частей; вывешивание предупредительных плакатов и знаков безопасности; проверка отсутствия напряжения; наложение заземления.

Особое внимание в данных мероприятиях уделяется защите от статического электричества. Наибольшие разрядные токи статического электричества возникают при прикосновении персонала к элементам ЭВМ. Такие разряды непосредственной опасности для человека не представляют, однако приводят к неприятным ощущениям в виде укола или толчка. Кроме того, разрядные токи статического электричества могут привести к выходу из строя ЭВМ.

Требования, предъявляемые к обеспечению электробезопасности пользователей, работающих на ПК, могут быть следующие:

- все узлы одного ПК и подключенное к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети;
- корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;
- для отключения ПК должен использоваться отдельный щит с автоматами защиты и общим рубильником;
- все соединения ЭВМ и внешнего оборудования должны производиться при отключенном электропитании.

При работе на вентиляционных установках необходимо соблюдать следующие правила пуска и техники безопасности:

Перед пуском вентиляторов проверить крепления ограждений приводов. Удалить все посторонние предметы с ограждений приводов, кожухов вентиляторов, электродвигателей. Закрыть задвижки в воздуховодах перед вентиляторами (пуск вентиляторов с открытыми задвижками не разрешается во избежание перегрузки электродвигателей). Включить пусковой рубильник и проверить по вольтметру наличие напряжения в сети. Открыть задвижки в воздуховодах, перед вентилятором и в других частях установки. Число оборотов вентилятора проверяют тахометром. Запрещается садиться или

опираться на ограждения приводов, класть на ограждения посторонние предметы или контрольно-измерительные приборы.

После окончания замеров давления в воздуховодах закрыть пробками измерительные отверстия, выключить рубильник, закрыть задвижку во входном отверстии вентилятора.

4.4 Пожарная безопасность

Пожар в помещении наносит материальный ущерб, а также несет угрозу жизни и здоровья людей, находящихся в этом помещении.

Согласно общероссийским нормам технологического проектирования ОНТП 26-84, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. В рабочем помещении имеется электропроводка напряжением 220 вольт, предназначенная для питания вычислительной техники и освещения. При неправильной эксплуатации оборудования и коротком замыкании электрической цепи может произойти возгорание, которое грозит уничтожением техники, документов и другого имеющегося оборудования. Известно, что для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Однако системы вентиляции и кондиционирования могут стать дополнительными источниками распространения возгорания. Данное помещение относится к категории В.

Необходимо в аудитории проводить следующие мероприятия:

- пожарно-профилактические: организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта; эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования; технические и конструктивные, связанные с

правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов;

- организационные мероприятия: противопожарный инструктаж обслуживающего персонала; обучение персонала правилам техники безопасности; издание инструкций, плакатов, планов эвакуации;
- эксплуатационные мероприятия: соблюдение эксплуатационных норм оборудования; обеспечение свободного подхода к оборудованию.

Из вышесказанного следует, что дополнительных мер защиты не требуется.

К техническим мероприятиям относится соблюдение противопожарных требований при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В рабочем помещении имеется 1 огнетушитель и общий обесточивающий рубильник, в случае возникновения пожароопасной ситуации необходимо обесточить помещение, используя огнетушитель ликвидировать очаг возгорания и эвакуироваться из помещения (рисунок 15).

Наиболее дешевым и простым средством пожаротушения является вода, поступающая из обычного водопровода. Для осуществления эффективного тушения огня используют пожарные рукава и стволы, находящиеся в специальных шкафах. В пунктах первичных средств огнетушения должны располагаться ящик с песком, пожарные ведра и топор.

Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться огнетушители углекислотные типа ОУ-2, или порошковые типа ОП-5. Кроме устранения самого очага пожара нужно своевременно организовать эвакуацию людей.

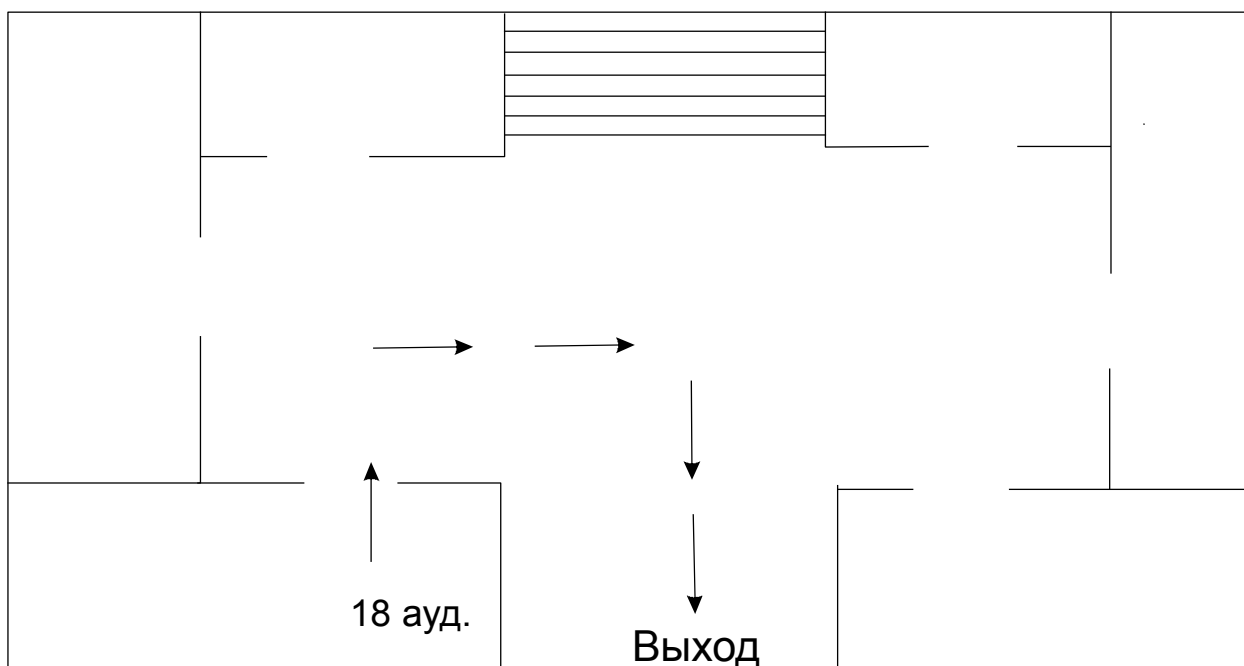


Рисунок 15. План эвакуации

4.5 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Благодаря оптимизации очистки дымовых газов от золы с помощью инерционных аппаратов уменьшаются вредные выбросы в атмосферу дымовых газов. Следовательно уменьшается вредное воздействие на окружающую среду. Благодаря очистке воздуха производственных помещений инерционными аппаратами значительно улучшаются условия труда, а так же состояние здоровья рабочих.

Проблемы деградации ОС являются одними из наиболее острых проблем современности. В разделе социальная ответственность произведен анализ вредных факторов физического и психофизического характера, которые могут оказывать воздействие на человека в рабочей зоне; были выявлены возможные чрезвычайных ситуации, возникновения которых наиболее вероятно в зоне использования объекта исследования ВКР. Чтобы снизить к минимуму угрозу возникновения факторов, пагубно влияющих на здоровье рабочего персонала представлены необходимые меры безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была достигнута поставленная цель, а именно были разработаны рекомендации по работе аппаратов пылеулавливания. В процессе исследования были выполнены поставленные задачи. Выполнен обзор новейшей научной литературы по тематике исследования процессов обеспыливания в инерционных циклонных пылеотделителях, выявлены наиболее перспективные предложения по совершенствованию конструкций инерционных пылеотделителей, основываясь на которые и была поставлена задача исследования. Основной задачей исследования стало получение зависимости эффективности вихревого разгрузителя-концентратора от глубины погружения выхлопного патрубка. После чего была проведена сборка, настройка и проверка экспериментального стенда, и проведено пять серий опытов с различной глубиной погружения а именно 30, 50, 70, 80, 90 процентов от рабочей длины концентратора. В качестве дисперсного материала был использован цемент М-400 со средним диаметром частиц 23-24мкм. Опыты проводились при температуре воздуха 18-20°C и относительной влажности около 50%. Наиболее эффективной оказалась установка с глубиной погружения выхлопного патрубка $0,8l$, где l – рабочая длина концентратора. Эффективность по улову составила $\eta_{ул} = (98,90 \pm 0,14)\%$, а эффективность по уносу $\eta_{унос} = (99,30 \pm 0,14)\%$. При этом аэродинамическое сопротивление установки является наибольшим, скорость потока составила 20,3м/с при концентрации дисперсного материала 4г/м^3 . Однако считать данный результат универсальным к сожалению нельзя, так как эффективность пылеулавливания циклонных аппаратов во многом зависит от условий использования (влажности воздуха и температуры), от дисперсного состава загрязняющего вещества и газа.

Проведено экономическое обоснование проекта: рассчитана смета затрат на разработку проекта и затраты на оплату труда.

Проанализированы вредные и опасные факторы труда, разработаны меры защиты от них, оценены условия труда и микроклимата рабочей среды. Рассмотрены вопросы техники безопасности, пожарной профилактики и охраны окружающей среды, даны рекомендации по созданию оптимальных условий труда.

Приведенный анализ научной литературы показывает, что за последнее время достигнуты достаточно хорошие успехи в совершенствовании аппаратов сухой пыли очистки, однако имеется много противоречивых данных о эффективности одних и тех же аппаратов, что затрудняет проведение анализа, и вынуждает проводить проверку уже имеющихся опытных данных. Отсутствие обратной связи между проектными организациями и производственными предприятиями, эксплуатирующими газоочистку, привело к многочисленному тиражированию аппаратов, не отвечающих как паспортным характеристикам, так и все более ужесточающийся экологическим требованиям к качеству атмосферного воздуха.

Таким образом, не смотря на достижения в области очистки газов, проблема по созданию сравнительно недорогого и эффективного метода сухой пылеочистки оставляет исследование инерционных аппаратов актуальным в настоящее время.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теверовский Е.Н., Дмитриев Е.С. Перенос аэрозольных частиц турбулентными потоками. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 160 с.
2. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки. – Пенза: Изд-во ПГ ун-та, 2005. – 210 с.
3. Булыгин Ю. И., Панченко О. С., Романов В. А., Денисов О. В. Повышение эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон – Ростов: Вестник ДГТУ, 2013. – 9 с.
4. Ter Linden A.J. Investigation Into Cyclone Dust Collectors // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers, vol. 160, 1949. – p. 233.
5. Кутателадзе С.С., Волчков Э.П., Терехов В.И. Аэродинамика и тепломассообмен в ограниченных вихревых потоках. – Новосибирск. – ИТФ СО АН СССР, 1987. – 282с.
6. Мельников В.К., Сухович Е.П., Завгородний В.А. Исследование поля тангенциальных скоростей в вихревой камере // Изв. АН Латвийской ССР. Серия физических и технических наук. –1968.-№3.-С 73-79.
7. Темникова Е. Ю., Исследование эффективности пылеулавливания в циклоне с рельефными поверхностями //ГОУ ВПО ТГАСУ - Кемерово, 2012. .
8. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред.А.А. Русанова. – 2 изд. – М.: Энергоиздат, 1983. – 312 с.
9. Лебедев В.Д., Маслов В.Е., Ключинин А.В., Лейкин В.З. Отработка и исследование конструкции делителя-концентратора пыли для блоков 500 МВт Экибастузской ГРЭС-2 // Теплоэнергетика, 1985. № 2. – С.35-37.
- 10.Василевский М.В., Шиляев М.И. Расчёт турбулентного течения аэрозоля в прямоточном циклоне // Методы гидро- аэромеханики в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977. – С.84-95.

11. Василевский М.В. Обобщенные параметры, определяющие эффективность сепарации в циклонных пылеуловителях // Методы гидроаэромеханики в приложении к некоторым технологическим процессам. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1977. – С.96-101.
12. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. М.И. Биргер, А.Ю. Вальдберг, Б.И. Мягков и др. Под общей ред. А.А. Русанова – 2 изд. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.
13. Потапов О.П, Кропп Л.Д. Батарейные циклоны. – М.: Энергия, 1977. – 152 с.
14. Кукушкин И.В., Мальгин А.Д. Расчет эффективности очистки и раздачи потока для батарейных циклонов с частичным отсосом и рециркуляцией потока // Механическая очистка промышленных газов. – НИИОГАЗ, Машиностроение, 1974. – С.30-43.
15. Веселов С.А. Практикум по вентиляционным установкам. М., изд-во «Колос», 1967.– 279с.
16. Волошенко А. В., Медведев В. В. Технологические измерения и приборы. Курсовое проектирование: Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2004.- 120 с.
17. Технико – экономическое обоснование инновационного проекта. Методические указания. Томск: ТПУ, 2002.- 53 с.
18. Н.А. Соломатин, Р.В. Акбердин, З.П. Румянцева., "Менеджмент организации".-М.: ИНФРА-М, 1995.-432 с.
19. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования.-М.: НПКВЦ "Теринвест",1994.-80с.
20. Л.А. Коршунова., "Инновационный менеджмент": Учебное пособие -Томск: Изд. ТПУ. 2000.-108 с.
21. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Вторая ред. авт.

кол.: В.В. Косов, В.Н. Лившиц, Л.Г. Шахназаров.-М.: ОАО "НПО" Издательство Экономика, 2000.-421 с.

22. Управление проектами. Учебник/ Под ред. Шапиро В.Д. - Спб.: "ДваТри", 1996.-610 с.

23. И.Т. Балабанов. " Инновационный менеджмент".- Спб.: Питер, 2001. -304с.

24. Охрана труда в электроустановках./ Под ред. Б.А. Князевского. М.: 1985.

25. Юдин Е.Я. Охрана труда в машиностроении. М.: Машиностроение. 1989.

26. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. М.: Энергия. 1990.

27. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность./Справочник. Баратов А.П. М: Химия. 1987.

28. Охрана окружающей среды./Под ред. Белова СВ. М.: Высш. шк. 1983.-264 с.

29. А.М. Родионов, В.Н. Клушин, И.С. Торочешников. Техника защиты окружающей среды. - М: Химия. 1989.

30.Справочник по инженерной психологии./Под ред. Б.Ф. Ломова. -М: Машиностроение. - 368 с.

31. Справочник проектировщика. 4.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. - М.: Стройиздат. 1982.

32. Каменев П.И. Отопление и вентиляция. Г. 11. Вентиляция. - М.: Изд-во литературы по строительству. 1966.

33. Левочкин Н.И. Инженерные расчеты по охране труда. - Красноярск: КГУ. 1987. - 152 с.

34. Справочник для проектирования электрического освещения./Под ред. Г.11. Кнорринга. - Л.: Энергия. 1976.

35. Безопасность производственных процессов. / Справочник. Под ред. СВ. Белова. М.: 1985.

36. Голиков В.Я., Кореико И.П. Радиационная защита при использовании ионизирующих излучений. – М.: Методика. 1975.-287 с.
37. Г.Ф. Денисенко. / Охрана труда. М.: Высш. шк. 1982.
38. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. - М: Энергонздат. 1982.
39. Страус В. Промышленная очистка газов: Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. –616 с.
40. М.В. Василевский, Е.Г. Зыков Расчёт эффективности очистки газ в инерционных аппаратах: Учебное пособие.– Томск: Изд-во ТПУ, 2005.–86с.